

ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS BIM EN UNA INGENIERÍA



Grado en Ingeniería de tecnología Industrial

María Cappuyns Jordán

Directora del TFG: Montserrat Sánchez Romero

Convocatòria ordinària 2019/2020



Índice

1.	Introducción	8
1.1	Objetivo	8
1.2	Alcance	8
1.3	Especificaciones básicas	8
1.4	Background.....	9
2.	BIM	12
2.1	Antecedentes y estado del arte	12
2.2	El BIM en España	17
2.3	El BIM en el mundo en 2020.....	20
2.4	Cambios del BIM respecto CAD	25
2.5	Descripción de conceptos.....	30
2.6	Estrategias de implantación BIM	33
2.7	Metodología y herramientas BIM	35
2.7.1	Software y Hardware.....	35
2.7.2	Trabajo colaborativo	36
2.7.3	LOD	38
2.8	Dimensiones BIM.....	40
3.	Desarrollo	42
3.1	Implantación BIM en organizaciones.....	42
3.2	Riesgos en la implementación BIM en la pequeña y mediana empresa	46
3.3	Ventajas de la implementación de las herramientas BIM.....	52
3.4	Inconvenientes de la implementación de las herramientas BIM	55
3.5	DAFO sobre las pequeñas y medianas empresas.....	57
4.	Modelo para el estudio técnico-económico	59
4.1	Datos de entrada (inputs):.....	59
4.2	Outputs.....	61
4.3	Tabla de eficiencia	62
5.	Estudio de la rentabilidad económica	64
5.1	Resultados analíticos	64
5.2	Resumen económico	66
5.3	Implicaciones ambientales	68
6.	Planificación	69
7.	Conclusiones.....	72
8.	Recomendaciones	74



9. Bibliografia 75

10. Normativa..... 78

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Ciclo de vida del modelo BIM. Fuente: [10]	9
Ilustración 2. Niveles de madurez BIM definidos por Mark Bew and Mervyn Richards. Fuente: [2]	11
Ilustración 3. El desarrollo de la definición BIM. Fuente: adaptado de Ahmad L., Brahim, J. & Fathi, M. (2014)	12
Ilustración 4. Timeline de la Historia del BIM. Fuente [3]	16
Ilustración 5. Plan de trabajo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente:[13]	17
Ilustración 6. Logo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente:[13]	17
Ilustración 7. Estructura organizativa de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente [13]	18
Ilustración 8. Crecimiento BIM en el mundo, año 2016. Fuente:[26]	24
Ilustración 9. Principales diferencias entre metodología CAD y BIM. Fuente: [11]	27
Ilustración 10. Nivel de recursos requeridos en cada una de las fases de proyecto según la metodología empleada. Fuente:[33]	28
Ilustración 11. Formato de archivo estandarizado IFC para software de arquitectura. Fuente: [51]	31
Ilustración 12. IPD. Fuente: elaboración propia	31
Ilustración 13. Modelo de Dinámicas de Macro Difusión. Fuente: [38]	33
Ilustración 14. Estrategias de implantación de la metodología BIM en España prevista por es.BIM. Fuente:[37]	34
Ilustración 15. Representación esquemática de los diversos posibles agentes involucrados a un modelo BIM. Fuente:[40]	36
Ilustración 16. Ejemplo niveles de definición en apoyo estructura metálica. Fuente:[46]	39
Ilustración 17. Fuente: [48]	41
Ilustración 18. VAN en función de la Tasa de descuento. Fuente [56]	61
Ilustración 22. Diagrama de Gantt	71
Ilustración 23. Dependencia tareas	71
Ilustración 24. Descripción de las normativas. Fuente: [62]	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Beneficios del uso de BIM en las distintas etapas de un proyecto de ingeniería y construcción. Fuente: [15]	54
Tabla 2. DAFO PYMES. Fuente: [39]	58
Tabla 3. Inputs y outputs	62
Tabla 4. Resultado económico del modelo estudiado.	63
Tabla 5. Resultados indicadores de rentabilidad	63
Tabla 6. Resultados analíticos (1)	64
Tabla 7. Resultados analíticos (3)	65
Tabla 8. Resultados analíticos (2)	65
Tabla 9. Planificación tareas	69
Tabla 10. Estándares BIM internacionales para 2018. Fuente: [62]	78

Resumen

En este trabajo se estudia la implementación de herramientas BIM en pequeñas y medianas empresas de ingeniería, las ventajas y desventajas que conlleva, los riesgos, los costes, etc.

Para ello, al principio del trabajo se explica con detalle en que consiste el BIM, ya que, es una metodología que permite compartir información de forma eficaz y fiable entre todas las partes de un proyecto, favoreciendo el flujo de trabajo y el resultado final. Se trata de una metodología cuya aplicación, de forma evidente, deberá consolidarse en nuestro país en los próximos años, como ya estamos viendo que ocurre en otros países de nuestro entorno.

La adopción del BIM en distintas áreas de la arquitectura, ingeniería y construcción ha aportado muchos beneficios, en consecuencia, se plantea su uso en el ámbito de la planificación y control de proyectos, ya que puede suponer una mejora en los procesos relacionados con el alcance, tiempo, coste y calidad.

Abstract

This work studies the implementation of BIM tools in small and medium-sized engineering companies, the advantages and disadvantages involved, the risks, costs, etc. For this, at the beginning of the work it is explained in detail what BIM consists of, since it is a methodology that allows information to be shared effectively and reliably between all the parts of a project, favouring the workflow and the final result. It is a methodology whose application, obviously, must be consolidated in our country in the coming years, as we have already seen that is happening in other countries around us.

The adoption of BIM in different areas of architecture, engineering and construction has brought many benefits, consequently, it's considered to use it in the field of project planning and control, since it can lead to an improvement in the processes related to the scope, time, cost and quality.

Declaración de honor:

I declare that,

the work in this Degree Thesis is completely my own work, no part of this Degree Thesis is taken from other people's work without giving them credit, all references have been clearly cited.

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

María Cappuyns Jordán

Student Name

Signature

17/06/2020

Date

Title of the Thesis :

Estudio de implementación de herramientas BIM en una ingeniería

Glosario:

AECO: Architecture, engineering, construction and operations.

BDS: Building Description System.

BIM: Building Information Modeling.

CAD: Computer Aided Design / Diseño Asistido por Ordenador.

IFC: Industry Foundation Classes.

IPD: Integrated Project Delivery.

LOD: Level of Development / Nivel de Desarrollo.

TFG: Trabajo Fin de Grado UPC.

3D: Tridimensional / Tres dimensiones.

GRETI: Grado en ingeniería en tecnologías industriales.

ROI o RSI: Return On Investment o Retorno sobre la Inversión.

CSCAE: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

1. Introducció

1.1 Objectiu

El principal objectiu de este treball és estudiar la implementació de eines BIM en una enginyeria. És dir, analitzar els canvis en els processos de planificació i control d'abast, temps, cost i qualitat en projectes d'enginyeria i construcció amb l'ús de la metodologia BIM en ells.

1.2 Alcance

- Antecedents de la tecnologia BIM.
- Avantatges i inconvenients de la implementació de les eines BIM.
- Anàlisi dels costos econòmics.
- Anàlisi dels costos estructurals.
- Anàlisi dels procediments necessaris a implantar dins de la enginyeria per poder incorporar les eines BIM (visió general, sense detallar accions concretes).
- Implicacions ambientals.
- Determinar la viabilitat de la implantació de les eines BIM.

1.3 Especificacions bàsiques

- Empreses petites i mitjanes del sector de la construcció, fonamentalment despachos professionals d'arquitectura i enginyeria.
- Nombre mitjà de treballadors entre 10 i 250 persones.
- Serà necessari per a la seva implantació una formació addicional.
- La implantació tindrà una repercussió (compra de programes, adequació de personal tècnic, ordinadors de gran rendiment...).

1.4 Background

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción.

Su objetivo es la gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. El BIM se extiende a lo largo del ciclo de vida del edificio.

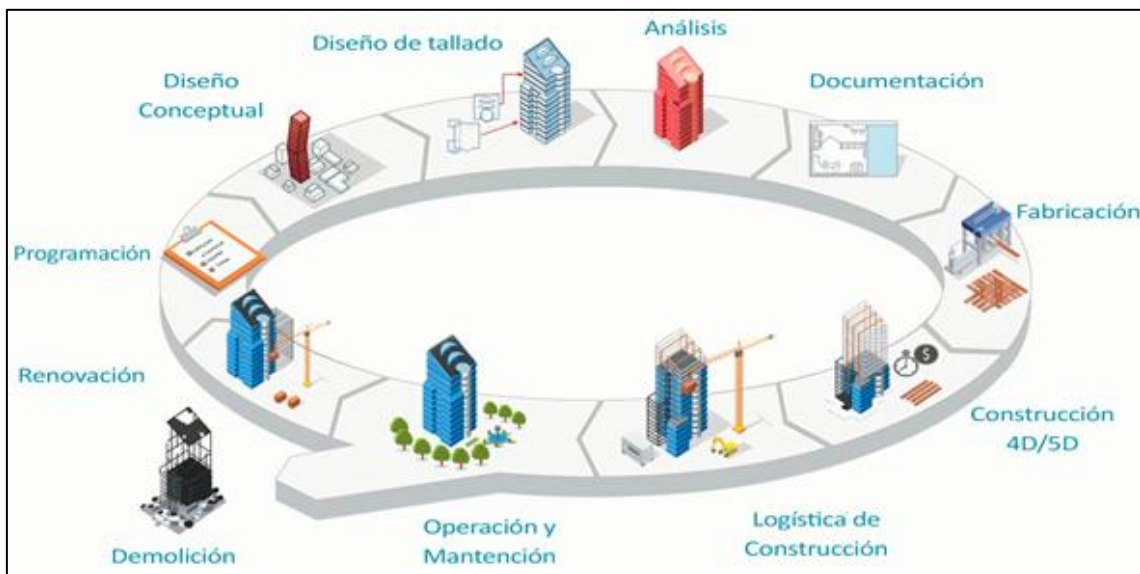


Ilustración 1. Ciclo de vida del modelo BIM. Fuente: [10]

Las compañías que apuestan por la metodología BIM cada vez son más, esta metodología está entrando con fuerza en grandes empresas y PYMES, por tanto, la demanda de profesionales cualificados y formados en este sector es cada vez mayor.

Hoy en día, el control y la planificación de un proyecto es esencial ya que, abarca desde el principio hasta el final de éste. Normalmente, la planificación y el control trabajan individualmente varios temas como por ejemplo, el tiempo, el alcance, la calidad, el coste, los recursos humanos, el modelo, etc. En consecuencia, se realizan estimaciones sin basarse en otras variables del proyecto y eso acaba afectando a todo.

Con el uso de BIM en los proyectos de ingeniería sería posible compartir datos e intercambiar información y conocimiento. Gracias a esto, muchos imprevistos se podrían anticipar, se agilizaría el proceso y se optimizaría el sistema. Al gestionar la información del proyecto, se centraliza dicha información y permite su uso tanto en el mismo como en futuros proyectos de

inversión. Además, el Modelo BIM es una herramienta potente que mejora los procesos comunicativos entre los stakeholders.

Los stakeholders en un proyecto son las partes que están interesadas en él. Uno de los problemas es que, actualmente, no existe relación entre ellos, en la industria de la construcción por ejemplo, se separa el producto del proceso y eso causa luego problemas.

Otro problema que existe es que nadie diseña el proceso a seguir a la hora de realizar un proyecto. Es tan tradicional el modelo actual que mucha gente no se lo puede imaginar de otra manera.

El uso de la metodología BIM aporta muchos beneficios ya que facilita la toma de decisiones en la fase de diseño, la creación de documentos de alta calidad, el cálculo de costes y la planificación de la construcción. Pero éstos son a mediano y largo plazo, ya que, su implantación supone un gasto elevado para la empresa y el nivel de formación de los empleados aun no alcanza las cotas deseadas.

En 2016 el gobierno del Reino Unido estableció como objetivo mínimo alcanzar el nivel 2 de maduración para todo el trabajo en el sector público. Se considera que se ha alcanzado dicho nivel cuando la base del proyecto es el trabajo colaborativo. En este proyecto se marcará también este objetivo con el fin de estar en línea con los procesos de implementación BIM similares que están realizando organizaciones equivalentes a nivel nacional e internacional.

A continuación se muestran los diferentes niveles de madurez BIM, estos se analizarán con más detalle en un apartado posterior.

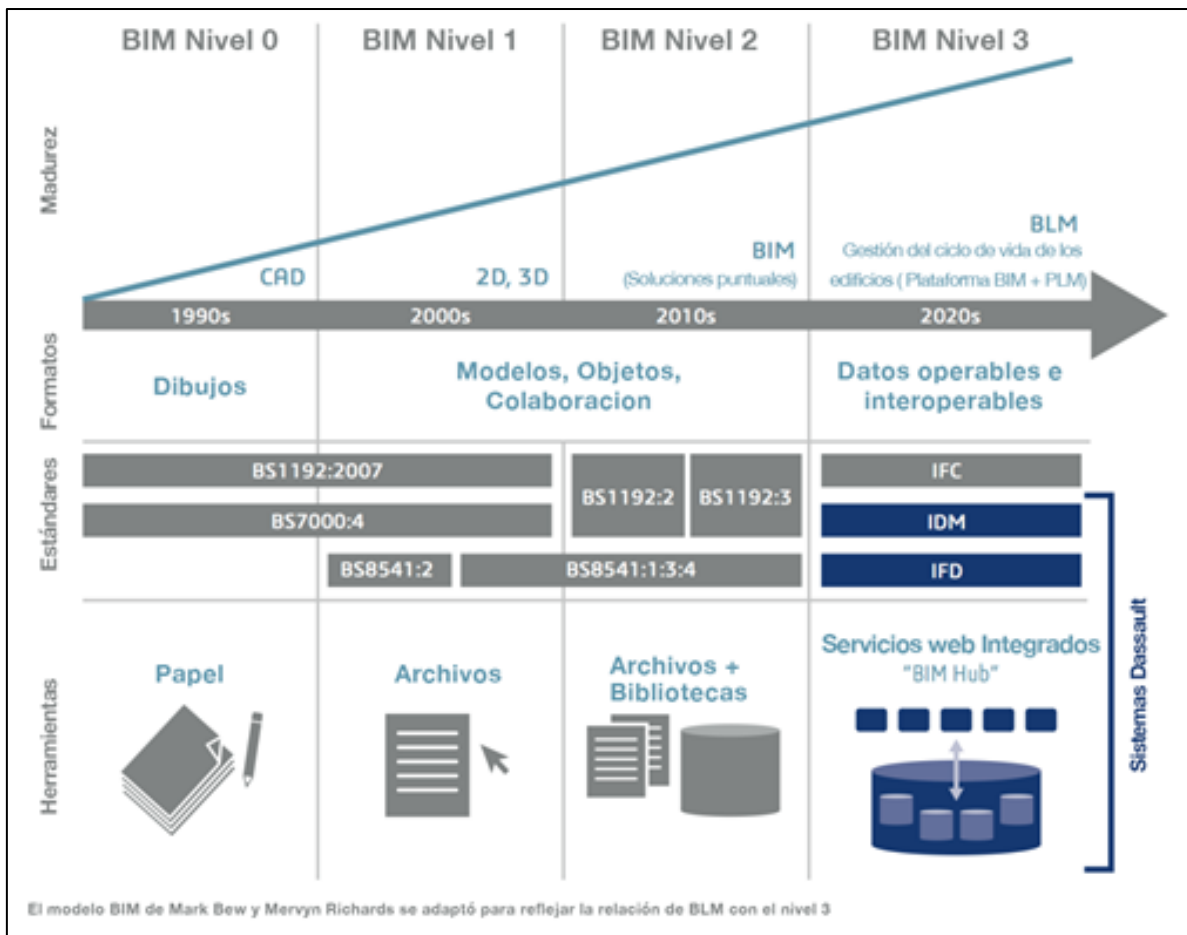


Ilustración 2. Niveles de madurez BIM definidos por Mark Bew and Mervyn Richards. Fuente: [2]

Se quiere llegar al nivel 2 puesto que así todas las partes tendrán la capacidad de trabajar en un entorno tridimensional de modelos de información integrados en un entorno común, llamado modelo federado.

[1, 2, 3, 4, 5, 10]

2. BIM

2.1 Antecedentes y estado del arte

El concepto BIM no está atribuido a alguien en particular, tampoco a una organización o país. Más bien, nace desde la colaboración de información entre distintos agentes y dentro de estos colaboradores destacan Estados Unidos, el centro y norte de Europa y Japón.

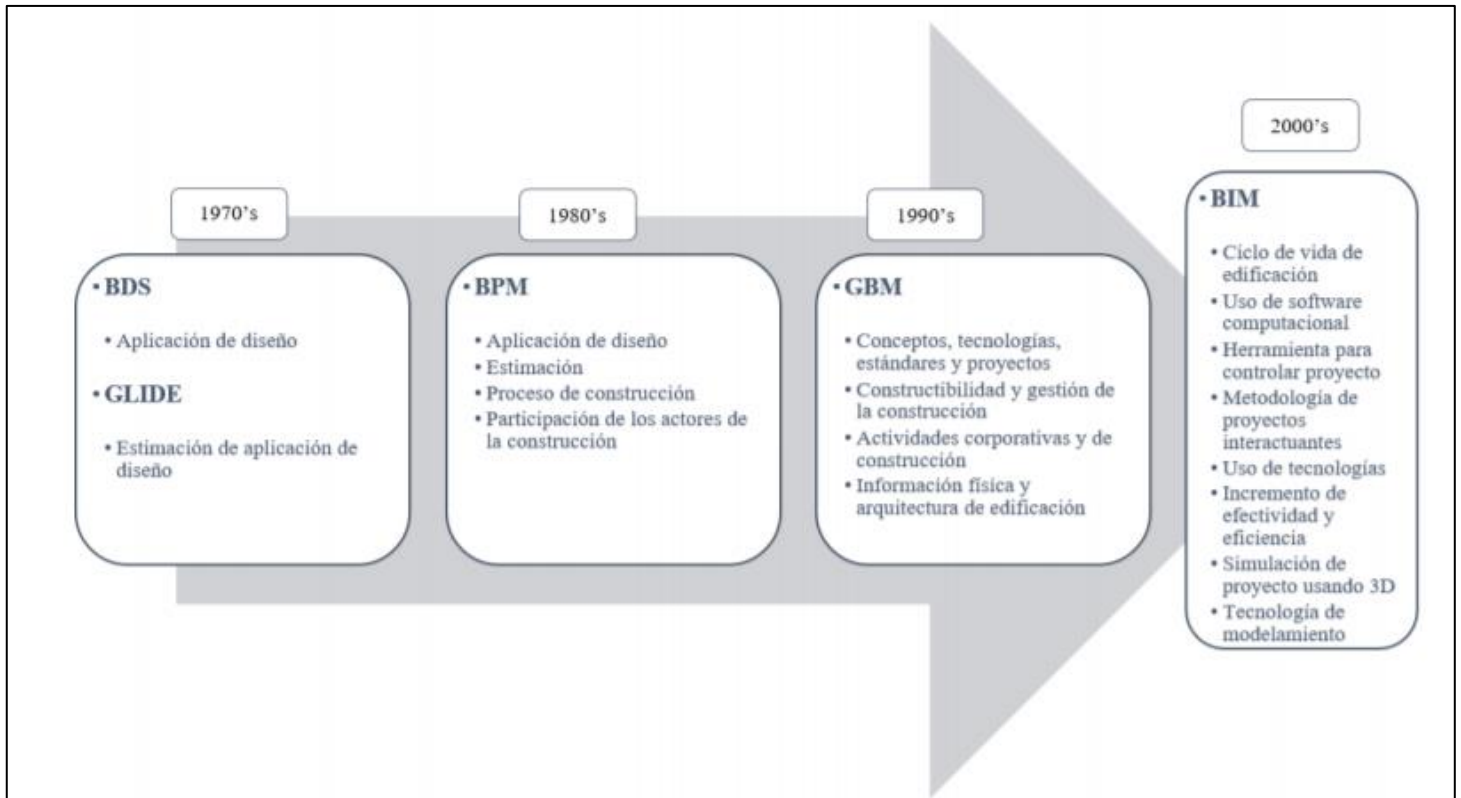


Ilustración 3. El desarrollo de la definición BIM. Fuente: adaptado de Ahmad L., Brahim, J. & Fathi, M. (2014)

El origen de BIM está marcado por varios acontecimientos que según varios estudios son los siguientes:

1957. Apareció el primer software CAM comercial, “Pronto”, gracias al Dr. Patrick J. Hanratty. Este fue el primer sistema CAD/CAM que utilizó gráficos interactivos, pasando de dibujar planos “a mano” a realizarlos en ordenador.

1963. Se desarrolla el primer sistema de CAD diseñado por Ivan Sutherland llamado Sketchpad. Es el primer programa informático capaz de crear líneas en la pantalla de un ordenador.

1973. Unos estudiantes de la universidad de Cambridge crearon el predecesor del BIM. Buscaban fusionar CAD con sólidos en 3D y así poder generar vistas paramétricas de un elemento.

1974. Charles Eastman, padre del BIM, desarrolla el sistema BDS (Building Description System) cuando ni si quiera existían ordenadores personales. El BDS tiene todos los ingredientes del actual BIM. En este software se aborda el problema del proyecto desde una base de datos en la que se han separado los componentes del edificio en distintas piezas. Eastman criticaba la falta de coherencia en la información arquitectónica al no venir toda ella de un solo modelo.

1975. Charles Eastman publica el primer trabajo sobre BIM. En él, se discutían ideas de diseño paramétrico y representaciones 3D en ordenador con una base de datos integrada y única, para análisis visuales y cuantitativos.

1978. Se presenta la primera versión de SigmaGraphics, un entorno completamente dedicado a la arquitectura y la construcción. Este software originalmente fue desarrollado para entornos multitarea tales como UNIX/XENIX y actualmente trabaja bajo sistemas operativos de Windows.

1982. En EEUU y UK, la industria del software se desarrolla a gran velocidad pero el BIM tal y como lo entendemos hoy en día se debe a dos genios de la matemática del Bloque Soviético: Gábor Bojar y Leonid Raiz fundadores de ArchiCAD y Revit respectivamente.

Ese año Gabor Bojar se enfrenta al gobierno comunista de Hungría y crea una empresa privada para desarrollar ArchiCAD. Para poder escribir las primeras líneas de su código Gabor tiene que empeñar las joyas de su esposa y pasar un Apple de estraperlo a través de la cortina de hierro. En 1984 crea la primera versión de ArchiCAD llamada CH RADAR para el sistema operativo Apple Lisa. ArchiCAD se convierte en el primer software BIM para ordenadores personales. ArchiCAD se basa en el potente lenguaje GDL (Geometric Description Language).

1984. Después de desarrollar varios softwares de CAD para su propia oficina técnica, Georg Nemetschek crea Allplan. Allplan se puede considerar el segundo software BIM de la historia para ordenadores personales.

Se crea el ISO STEP que regula la forma Estándar del Modelo de Datos para el intercambio de productos (ArchiCAD 1º programa BIM).

1985. Aparece en el mercado VectorWorks bajo el nombre comercial de MiniCAD desarrollado por Richard Diehl. Originalmente solo para plataforma MAC. VectorWorks se puede considerar el tercer BIM de la historia para ordenadores personales. En este mismo año nace PseudoStation desarrollado por Bentley. Más tarde cambiará el nombre por Microstation.

1986. Se utiliza la palabra BIM refiriéndose al uso que se le destinó al software para la construcción del aeropuerto de Heathrow de Londres.

1988. Estudiantes de doctorado comenzaron a desarrollar más a fondo la metodología BIM.

1992. Se acuña el término de “Building Information Model” por Van Nederveen y Tolman, del departamento de ingeniería civil de la Delft University of Technology, Holanda.

1993. GraphiSoft hace la primera versión de ArchiCAD para Windows. Se convierte en el primer software CAD-BIM multiplataforma.

1994. La International Alliance of Interoperability (IAI) de Estados Unidos genera una iniciativa para poder generar toda esta gama de necesidades que se debían anticipar para poder generar los softwares BIM y que fueran eficientes, generan el primer intercambio de IFC (Industry Foundation Classes). El IFC fue desarrollado para permitir el flujo de datos a través de las distintas plataformas, haciendo compatible un archivo con distintos programas BIM.

1996. DiHel GraphSoft desarrolla la versión 6 de Minicad disponible para Windows y Mac. Se convierte en el segundo CAD-BIM multiplataforma.

Comenzó a funcionar el Consorcio Industrial IAI que asesoraba el desarrollo de aplicaciones integradas.

2000. Leonid Raiz e Irwin Jungreis, forman Charles River Software, germen de Revit. La compañía fue renombrada posteriormente como Revit Technology Corporation apareciendo la primera versión de Revit el 5 de abril del 2000. Revit es un software que revolucionó el BIM mediante el uso de un motor de cambio paramétrico a través de la programación orientada a objetos y la creación de una plataforma que permitía agregar la dimensión tiempo.

2002. Autodesk compra Revit por 133 millones de dólares. Esta empresa se hizo con diversos softwares catalogables como BIM en ese entonces y ha seguido desarrollándolos hasta el presente.

Se crea el primer proyecto BIM integrado en Finlandia.

También Autodesk publica un libro titulado “Building Information Modeling” que fue la primera ocasión en la que fue llamado completo el nombre Building Information Modeling. Se empieza a dar la información de los modelos paramétricos y de todas las ventajas.

2006. Se lleva a cabo el primer proyecto IPD (Integrated Project Delivery) en Estados Unidos.

2007. Se crean en EEUU (GSA) y Finlandia (Senate Properities) las guías que hay que seguir para llevar a cabo un proyecto BIM.

Sale la primera publicación por parte de National BIM Standard la cual se basa en las guías BIM que existen en Estados Unidos, pero orientado a una instalación genérica, con requisitos uniformes y para su uso por parte del gobierno, del propietario o comercial del edificio.

Desde 2007 en Estados Unidos se empezó a exigir la tecnología BIM gracias a la madurez del mercado.

2009. Hasta este año Revit mantiene una interfaz basada en iconos similar a la del año 2002.

2010. Revit cambia totalmente su interfaz asimilando la tecnología Ribbon (cinta) que mantiene en la actualidad.

El gobierno del Reino Unido anuncia los requisitos para la implantación.

2011. El gobierno de Reino Unido publicó “Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy” donde el gobierno anunciaba su intención de requerir BIM en todos los proyectos de construcción a partir del año 2016.

2012. Finlandia publica los requerimientos BIM comunes a nivel nacional.

Desde este año, los edificios públicos daneses deben ser desarrollados con modelos BIM.

2013. En Qatar, Arabia Saudí y Kuwait, la tecnología BIM pasa a ser un requisito del cliente.

2016. El Reino Unido hace obligatoria la implantación de la metodología BIM en los proyectos de obras públicas.

La adopción de la “Directiva sobre contratación pública de la UE (EUPPD)” establece que los 28 estados miembros de la UE pueden fomentar, especificar o imponer el uso del BIM para proyectos de construcción financiados con fondos públicos en la UE para el año 2016. En Reino Unido, Países Bajos, Dinamarca, Finlandia y Noruega ya requieren el uso del BIM para proyectos de construcción financiados con fondos públicos.

2017. En Francia, Cécile Duflot, ministro de territorio, igualdad y vivienda, declaró que desde este año se requeriría la adaptación gradual a la tecnología BIM.

2018. Uso obligatorio en España en proyectos de Licitaciones Públicas de Edificación.

[1, 2, 3, 4, 5, 10]

En la actualidad el programa más usado para trabajar en BIM en España y a nivel global es Revit de Autodesk.

En la siguiente ilustración se ve el Timeline de la Historia del BIM, desde el momento de su ideación y concepción hasta la actualidad dónde la obligatoriedad por parte del gobierno marcara el paradigma actual de la situación BIM en España.

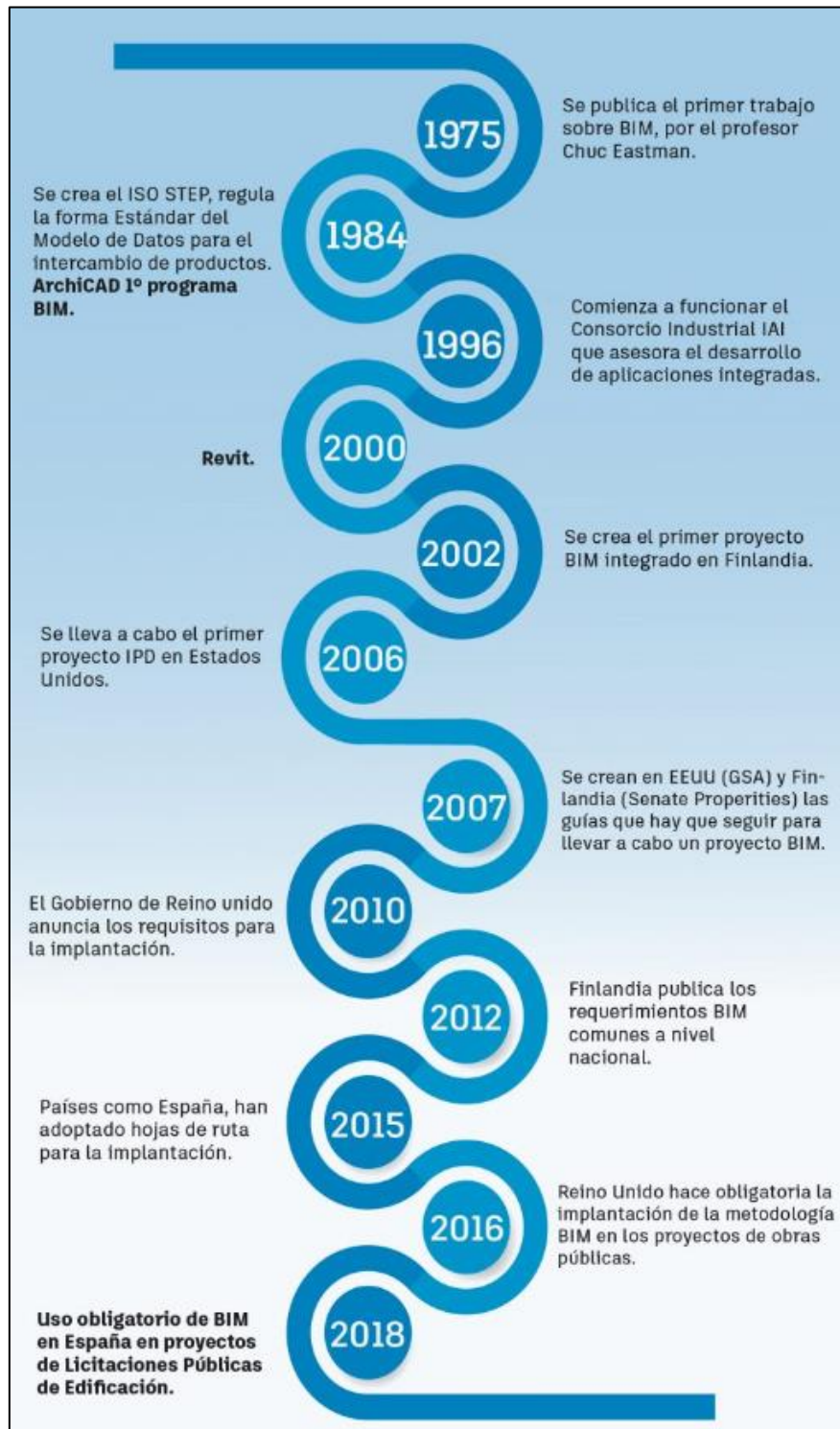


Ilustración 4. Timeline de la Historia del BIM. Fuente [3]

2.2 El BIM en España

En España, la utilización de herramientas BIM en despachos de ingeniería se empezó a utilizar gracias los clientes, puesto que eran ellos los que pedían que el proyecto se realizase con la metodología BIM. También los despachos decidieron trabajar con estas herramientas para obtener una ventaja respecto el resto de los equipos y para ganar eficiencia.

Pero no fue hasta 2014 que la delegación BuildingSMART presentó la primera guía de protocolos BIM en español. Más tarde, en el verano de 2015, el Estado empezó a involucrarse en la implementación del BIM. Pretendían establecer las bases y la hoja de ruta para el uso obligatorio de BIM en las licitaciones públicas mediante la constitución de una Comisión (ilustración 6).

La metodología BIM pasó a ser obligatoria en España para licitaciones públicas de edificación en 2018, fecha impuesta por la Unión Europea. La implantación de BIM en España empezó a ser obligatoria para proyectos constructivos públicos que superasen los 2 millones de euros de presupuesto. Además, para todos los demás proyectos públicos de infraestructuras, el Ministerio de Fomento estableció su obligatoriedad en julio de 2019.

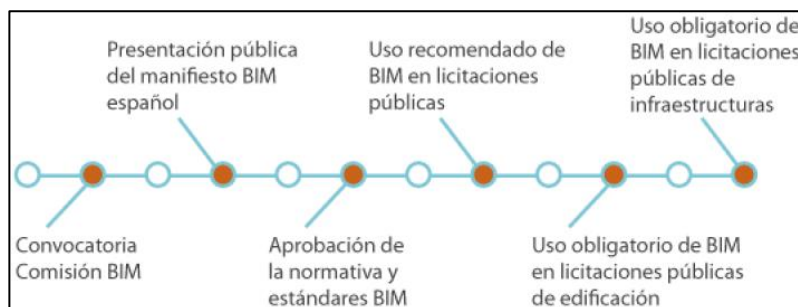


Ilustración 5. Plan de trabajo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente:[13]



Ilustración 6. Logo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente:[13]

El elemento clave de la estrategia española sobre el BIM es la colaboración entre los diferentes actores de todos los sectores involucrados mediante el seguimiento del proceso a través del Ministerio de Fomento. Fomento creó, a través de la comisión BIM, el proyecto *es.BIM* con el objetivo de acelerar la difusión del BIM en España.

Un informe de *es.BIM* muestra que en el primer trimestre de 2018 los datos mostraban un aumento del 700% en las licitaciones públicas basadas en metodologías BIM en comparación con el primer trimestre de 2017. Por lo tanto, se puede decir que la tendencia a incluir el uso de los protocolos BIM en licitaciones públicas está creciendo y es constante, ya que estos datos confirman un crecimiento que ocurrió antes de 2017.

La Comisión BIM está formada por un comité técnico y por cinco grupos de trabajo como se ve en la siguiente imagen:

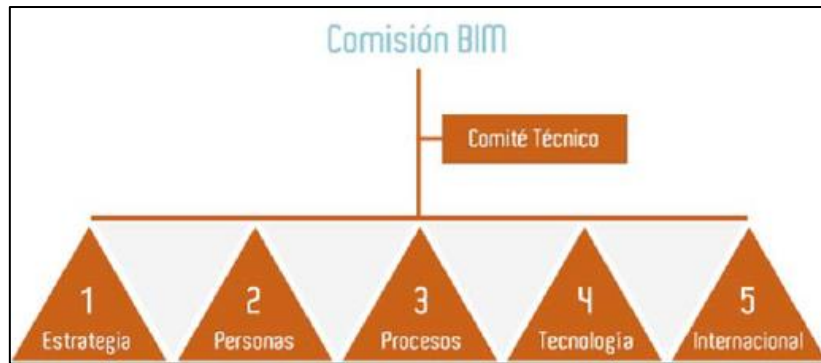


Ilustración 7. Estructura organizativa de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente [13]

En diciembre 2018 el Gobierno español creó la Comisión interministerial para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública que tiene como función principal la elaboración del Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la Contratación Pública de la Administración.

La implantación BIM hoy en día en España es muy baja (alrededor del 8%). Como referencia se coge una encuesta realizada por el observatorio *es.BIM* así como una encuesta realizada por un estudiante, ambas unas 2141 personas.

- Herramientas BIM: La herramienta de modelado BIM más utilizada, con más del 74% de utilización en modelado de proyectos es Autodesk Revit. La siguiente herramienta que le sigue es ArchiCAD con un 3.8% de utilización entre los encuestados y Allplan con un 2.9%. Como se puede ver, la gran parte de los estudios, ingenierías, promotoras etc. están utilizando Autodesk Revit para desarrollar sus proyectos en BIM.
- Fases de trabajo en las que se utiliza BIM: sólo un 2% de los encuestados utilizan BIM para el seguimiento de obra, un 22% para la redacción completa del proyecto y un 44% para el modelado e infografías.
- Beneficios implantación BIM: Son muchos los beneficios de la implantación BIM en una empresa. Por ejemplo, el ahorro entre el 15-25% en costes, detección de interferencias en la fase de redacción de proyecto, interoperabilidad...
- Recursos BIM: Los encuestados muestran un gran interés en estar a la última en temas relacionados con la metodología BIM. De los cuales, la mitad, utilizan *BuildingSMART Spanish Chapter* (asociación sin ánimo de lucro cuyo principal objetivo es fomentar la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM) para estar informado de las últimas novedades.

[52]

Concretamente, en Cataluña, desde el año 2014 la empresa pública Infraestructures de la Generalitat de Catalunya inició experiencias piloto del uso de BIM en proyectos de edificación. En febrero de 2015 en Barcelona, en el marco del congreso European BIM Summit, diversas instituciones catalanas firmaron y publicaron una carta de intenciones y calendario de objetivos para la adopción del BIM por parte de todos los agentes que trabajan en Cataluña. El objetivo de 2015-2016 era consensuar un mandato BIM en Cataluña. En 2017 adoptar estándares IFC, guías, clasificaciones y procesos de entrega del modelo digital pensando en cada fase del proyecto constructivo, de su ejecución, del mantenimiento posterior y de su integración en la ciudad. Definir unos protocolos comunes para la creación y definición de la información compartida entre los agentes orientados a la plena interoperabilidad entre las partes. En 2018 el objetivo era que los equipamientos y las infraestructuras públicas de presupuesto superior a 2 M € deberían producirse en BIM en las fases de Diseño y Construcción. Y en 2019 todos los equipamientos y las infraestructuras públicas deberían producirse en BIM en todas las fases: diseño, construcción y mantenimiento.

[5]

2.3 El BIM en el mundo en 2020

El BIM en el mundo es una herramienta fundamental para la economía y las políticas globales y nacionales dedicadas al desarrollo de la infraestructura y la construcción de cada país, por ello, muchos países han iniciado procesos de digitalización en el sector AECO.

A continuación se analizarán las políticas, las herramientas y los organismos usados en los principales países de los 5 continentes para la implementación de los procesos de digitalización del sector AECO, gracias al BIM. [28]

- BIM en América del Norte (Estados Unidos y Canadá):

Como se ha visto anteriormente, el BIM nació en Estados Unidos a principios de los años 70, consecuentemente, se esperaba que éste fuera el país más avanzado respecto a la adopción del BIM y a su aplicación en el sector de la construcción, pero de hecho no es así.

Si hacemos una comparación con el Reino Unido y su Plan 2016/2020, que requiere ya desde hace tiempo un nivel 2 BIM para todas las obras públicas, vemos como los EE.UU. se han quedado atrás mientras que otros países los han superado.

De hecho, hay varios países que han aprendido de las metodologías y tecnologías de los Estados Unidos, perfeccionándolas y adaptándolas a su contexto, evitando los errores cometidos por los estadounidenses, principalmente por la falta de homogeneidad entre los diferentes Estados. No logran superar una serie de obstáculos relacionados con la falta de coordinación y estandarización pública a nivel federal. Es por eso por lo que otros países han progresado más rápidamente.

Hoy en día, la digitalización de los procesos de construcción en Estados Unidos ha vuelto a ganar impulso gracias a dos aspectos fundamentales que han permitido un mayor progreso en la productividad en el mundo de la construcción estadounidense: la estandarización y la colaboración.

Por otro lado, en Canadá, los esfuerzos realizados en los últimos años son notables no sólo para promover la adopción del BIM en el sector AECO, sino también y sobre todo para aprobar políticas nacionales específicas.

Si bien la comunidad canadiense de técnicos y empresas en el sector AECO ya está lista para el cambio hacia la construcción digital, las instituciones aún no están listas, ya que no tiene una política institucional sobre el BIM, y mucho menos normativas obligadas para su uso en obras

públicas. Las empresas y los técnicos canadienses se están autoorganizando, permitiendo la difusión de proyectos piloto innovadores y vanguardistas.

- BIM en Sudamérica (Argentina, Brasil, y Perú):

En los países latinoamericanos, los procesos de digitalización en el sector AECO comenzaron tarde en comparación con los países europeos o norteamericanos, sin embargo, se están propagando rápido.

En junio de 2017, se estableció en Brasil el *Comité Estratégico para la implementación del BIM* (CE-BIM) y un *Grupo de Apoyo Técnico* (CAT-BIM) con 6 grupos ad hoc que se ocupaban de temas específicos.

En septiembre de 2019, se publicó en Perú, en el Diario Oficial “*El Peruano*”, el decreto que contiene las disposiciones para la integración gradual del BIM en proyectos públicos.

El decreto, elaborado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), tiene como objetivo reducir los sobrecostos y las demoras en la ejecución de las infraestructuras públicas, y hacer más eficiente su operación y mantenimiento, así como promover la transparencia en los procesos de inversión pública: el primer paso hacia una estrategia nacional llamada Plan BIM Perú.

Aunque empezó tarde en comparación con otros países, Argentina adoptó en agosto de 2019 un plan que se propuso conducir a la adopción del BIM a partir de 2025 para todas las obras públicas. El propósito de este plan es desarrollar un conjunto ordenado de principios, directrices y procedimientos para regular y establecer una metodología de trabajo para los sectores de obras públicas interesado en la implementación de procesos BIM.

- BIM en Australia:

En Australia, las autoridades han seguido con interés el progreso británico en la digitalización de la construcción, introduciendo gradualmente el BIM también en Oceanía, gracias a eso, hoy tienen un pleno desarrollo del sector.

El éxito de un proyecto BIM es el resultado de una colaboración efectiva entre profesionales de la construcción, lo mismo ocurre con el éxito de las políticas nacionales australianas que

necesitan de colaboración entre las diferentes partes interesadas tanto privadas como públicas, esta es la receta inglesa adquirida.

- BIM en Asia (China y Rusia):

En el continente asiático, China es sin duda el país que está más familiarizado con el BIM, también tiene la mayor tasa de crecimiento y difusión de esta metodología, de hecho, desde 2016 China ha tenido un crecimiento exponencial en el grado de uso del BIM por parte de arquitectos y empresas chinas.

Desde el 2016 hasta hoy, el número de arquitectos que han iniciado a utilizar el BIM para realizar una parte de sus proyectos se ha incrementado en el 89% e incluso en un 108% entre las empresas. Un nivel de crecimiento que demuestra claramente el alto valor agregado atribuido a esta herramienta.

El gobierno chino contempla el BIM como una oportunidad para reducir los costes ambientales y mejorar la eficiencia energética en la industria, especialmente en el sector de la construcción. Poco a poco el gobierno chino ha ido publicando sus primeras guías, que reciben el nombre de *National BIM Guidelines Series*, al mismo tiempo que se van concediendo subvenciones a empresas de todo el país para que empiecen a adoptar los sistemas BIM en su metodología de trabajo.

Por otro lado, Rusia está tratando de convertirse en uno de los países líderes en el uso del BIM en el mundo de la construcción, con el objetivo de exportar sus habilidades a todo el mundo.

Según el informe titulado *"Mercado de modelos de información sobre construcción BIM-Oportunidades y pronósticos para el 2022"* el mercado BIM alcanzará los 11,7 millones de dólares en 2022, con una tasa de crecimiento anual del +21,6%.

En particular, se prevé que la demanda de servicios BIM en Asia y en los países caucásicos crecerá rápidamente, gracias a la constante expansión del sector de la construcción, un mercado que Rusia no quiere perder (por eso está incluida en la explicación de Asia).

- BIM en Europa (Reino Unido, Francia, Italia y Alemania):

Europa cuenta con el mayor número de políticas y mejores prácticas sobre el BIM, gracias a una mayor apertura hacia las políticas de renovación del sector AECO.

En el desarrollo de la construcción, el Reino Unido está en primer lugar en Europa ya que el progreso de la revolución digital inglesa encuentra un ejemplo en la obligación (2011) de utilizar modelos BIM para cualquier proyecto público.

En Francia, el Plan de Transición Digital para la Construcción (*Plan Transition Numérique dans le Bâtiment*) promovido por el gobierno francés, apunta al 2022 para la completa difusión de la estrategia BIM en el diseño/gestión de obras públicas, en grandes infraestructuras, así como en construcciones privadas.

En 2015, Alemania comenzó a inspirarse en el ejemplo del Reino Unido. Las políticas estatales alemanas tomaron forma con la aprobación del plan para la construcción digital que destacaba la importancia de una planificación cuidadosa y una digitalización de los procesos, como paso obligatorio para desarrollar el sector. Posteriormente, se anunció oficialmente que el uso del BIM sería obligatorio para todos los proyectos alemanes de transporte e infraestructura para finales de 2020.

Es importante el hecho de que no únicamente se fomenta el uso de metodología BIM para el diseño y construcción de proyectos, sino también, como es el caso de Italia, el gobierno tiene como objetivo fomentar el desarrollo y la innovación del sector de la construcción mediante la creación de una base de datos italiana que contenga toda la información útil relacionada con el ciclo de vida entero de los edificios. Con esta base de datos se pretende obtener una mayor eficacia tanto en los procesos constructivos así como también en la gestión y mantenimiento de los edificios, siendo la información enlazada, actualizada y extensible a otros softwares independientes a través de modelos BIM mediante el tipo de archivo IFC.

- BIM en los países escandinavos (Noruega, Dinamarca, Finlandia y Suecia):

En el grupo de los escandinavos, al ser países más pequeños y con menor publicación, la difusión del BIM se hace más efectiva comparada con sus vecinos europeos.

A diferencia de muchos otros países del mundo, los países escandinavos se coordinan entre sí mediante el desarrollo de organizaciones y plataformas comunes.

BuildingSMART Nordic, por ejemplo, es una organización sin fines de lucro común a varios países, miembro de buildingSMART International, compuesta por representantes de Finlandia, Suecia, Dinamarca y Noruega.

En Finlandia el uso del BIM está consolidado, ya en 2001 la empresa gubernamental Senate Properties, que es responsable de los activos inmobiliarios públicos, comenzó a promover proyectos con BIM.

Un dato puntual es que *The Senate Properties* con colaboración de empresas constructoras y otras desarrolladoras de softwares, redactaron en 2012 las *Common BIM Requirement*, conocidas también como COBIM, que más adelante han servido como punto de partida para muchas otras guías, por ejemplo, la UBIM españolas.

En Suecia, el Swedish Standards Institute (SIS) ha publicado desde 1991 una serie de guías para la promoción del BIM en el país, mientras que desde el 2014 BIM Alliance Sweden ha reunido los principales organismos y actores, tanto públicos como privados, con el objetivo de encontrar más recursos para apoyar la innovación en la construcción.

[23][25][26][27][28]

Para finalizar, en la siguiente imagen se ve el crecimiento del BIM en el mundo en el año 2016.



Ilustración 8. Crecimiento BIM en el mundo, año 2016. Fuente: [26]

2.4 Cambios del BIM respecto CAD

Mucha gente aún considera BIM como un software para trabajar, pero no, el software o los diferentes softwares que se utilizan solo son herramientas para desarrollar esta filosofía de trabajo. Es un proceso que vincula personas, procesos y herramientas de una manera simultánea, que se desarrollan a lo largo de cualquier punto de la cadena de valor de un proyecto. Un entorno BIM implica interoperabilidad e intercambio de información entre los diferentes agentes que intervienen, el trabajo con BIM centra el trabajo en un modelo virtual, que se encuentra vinculado a una base de datos con la información de la construcción, modificando de manera reciproca los cambios que se produzcan tanto en el modelo como en la base de datos.

Pero las claves del BIM no residen únicamente en la forma de representación y creación de la documentación gráfica, sino tal y como indica el mismo nombre, la información es un pilar básico de la metodología. A la hora de dibujar, ya se ha dicho que no se dibujan líneas sino elementos, pero al mismo tiempo, éstos no están vacíos de significado, en ellos está toda la información que se quiere adjuntar: dimensiones, propiedades físicas, precios, mediciones, proveedores...

CAD o diseño asistido por ordenador, permite el diseño y la realización de la documentación gráfica de un proyecto. Con este sistema se puede trabajar en 2D o 3D, y es empleado tanto en el sector de la construcción como en el sector industrial. [32]

Muchos proyectistas todavía siguen utilizando CAD para la representación de los proyectos. Por tanto, dibujan una enorme cantidad de líneas y polilíneas para representar los objetos en los planos.

Por otro lado, con el software BIM el diseño arquitectónico se realiza a través de la inserción de objetos. Esto permite obtener, de forma inmediata y con un solo input, plantas, alzados, secciones, perspectivas axonometrías, renders y toda la documentación útil para la gestión del proyecto. Pero no únicamente obtenemos un modelo tridimensional, sino que también, es posible sacar toda la documentación gráfica de un proyecto, incluyendo planos de plantas, alzados y secciones. Eso cambia radicalmente la composición de los planos, lo que antes eran únicamente líneas y figuras geométricas planas, se convierte en sistemas y elementos constructivos.

La mayoría de los proyectos pueden trabajar indistintamente en CAD o BIM pero son dos maneras completamente diferentes de operar.

La diferencia principal reside en que CAD imita el tradicional estilo de dibujo a mano, solo que con herramienta de software informático. Mientras que BIM no es una herramienta de dibujo como tal, aunque también sirva para dibujar, su característica principal es el almacenamiento de información y la relación existente entre ella. A continuación se explicarán las principales diferencias entre CAD y BIM a la hora de llevar a cabo proyectos, para entender todo lo que supone este cambio en el sector. [31]

1. Un software y una metodología

Cuando hablamos de CAD lo primero que se nos viene a la cabeza es que estamos hablando de un programa de dibujo asistido por ordenador. En cambio, BIM no se entiende sólo como un software en el que podemos diseñar nuestro proyecto, sino que abarca mucho más.

El Building Information Modeling tiene que entenderse como una metodología de trabajo, en la que aparte de una herramienta que puede representar tridimensionalmente la obra, es capaz de controlar los tiempos de construcción, analizar el coste del proyecto o evaluar su sostenibilidad entre otras cosas. Es ahí donde reside la principal diferencia entre CAD y BIM.

2. Método de trabajo

Como hemos explicado en el anterior punto, con la entrada de BIM se ha cambiado radicalmente la forma en la que se lleva a cabo un proyecto de obra civil o arquitectura. Esta nueva metodología permite que todos los implicados puedan trabajar sobre un mismo modelo, algo que no sucedía con CAD.

Esto implica que la comunicación es mucho más fluida entre las distintas partes que componen el proyecto, ya que tanto los diferentes equipos de ingenieros como las empresas encargadas de la construcción o proveedores de materiales, trabajan en el mismo entorno.

Además, un beneficio de trabajar todos sobre el mismo modelo, es la posibilidad de solucionar errores que en el caso de CAD no se hubieran solucionado hasta la fase de edificación.

3. Gestión de la información

En un proyecto de ingeniería se generan una cantidad inmensa de datos conforme se va desarrollando. Por ello, es necesario llevar un control minucioso para no perder información en el camino. En este sentido, la gestión de los documentos producidos es totalmente distinta si trabajamos en CAD o en BIM. En el primer caso, el peso principal de los archivos creados son planos independientes unos de otros. En BIM, al contrario, todo lo generado puede ser

fácilmente administrado mediante bases de datos dentro del propio modelo. Esto hace que sea más fácil compartir la documentación entre los trabajadores y tener una gestión de la información más eficiente.

4. Control y mantenimiento durante la vida útil

La metodología BIM puede, en el mismo modelo en el que se llevó a cabo las fases de diseño y construcción, hacer un seguimiento durante la fase de utilización mientras que con CAD esto no es posible.

5. Software utilizado

Por último, vamos a hablar de los diferentes programas utilizados en cada uno de ellos. Como es lógico, al ser distintas las funcionalidades que te ofrecen CAD y BIM, los softwares utilizados también lo son. El programa con más cuota de mercado para el dibujo asistido por ordenador es AutoCAD, mientras que en BIM se utilizan principalmente Revit, ArchiCAD y Allplan. Además, es necesario hablar de la interoperabilidad entre programas que se da en BIM. Este concepto se refiere a la capacidad de transmitir datos producidos por una herramienta de software a otra y nos facilita de forma notable las operaciones en el entorno.

[30][31][32][33][34]

En resumen, las diferencias más importantes entre BIM y CAD se reflejan en esta imagen:

Concepto	CAD	BIM
<i>Dibujo</i>	Entidades geométricas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Líneas ▪ Círculos ▪ Polígonos ▪ Sólidos ▪ Superficies ▪ Otros 	Elementos constructivos con propiedades: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muros ▪ Puertas/ventanas ▪ Pilares ▪ Cubiertas ▪ Terrenos ▪ Otros
<i>Relación plantas – secciones – alzados – modelo 3D</i>	Son entidades independientes a las que hay que aplicar cambios por separado: <ul style="list-style-type: none"> ▪ En el mismo archivo ▪ Distintos archivos (con o sin referencias) 	Existe un único modelo del que se extraen representaciones. Cualquier cambio en el modelo cambia las representaciones.
<i>Datos asociados</i>	Bloques con atributos (poco utilizados, tienen limitaciones)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propiedades de los elementos (precios unitarios, materiales, gravedad...) ▪ Calculados (superficies, volúmenes...) ▪ Propiedades de los planos
<i>Informes</i>	Calcular datos y exportarlos a otros softwares	Generados automáticamente y vinculados (pueden cambiarse datos en informe o en modelo)
<i>Trabajo en grupo</i>	No hay Soluciones improvisadas: un archivo, una persona y relacionar archivos con Xref	Métodos cambian según la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Posibilidad de trabajar en zonas/capas concretas ▪ Permisos/usuarios

Ilustración 9. Principales diferencias entre metodología CAD y BIM. Fuente: [11]

Por todo ello, las principales ventajas del uso de la tecnología BIM respecto CAD son: [29]

- Ahorro de tiempo.
- Reducción de errores.
- Más sencillez.
- Integración entre disciplinas.
- Aumento de eficiencia.
- Mejores flujos de trabajo.
- Reducción costes.

Sin embargo, los proyectos BIM tienen como inconveniente principal la gran cantidad de tiempo necesario para desarrollar el diseño (ilustración 10). Sin embargo, se ha visto que el tiempo dedicado al diseño y gestión de la construcción disminuye a medida que avanza el proyecto. Los proyectos trabajados en CAD requieren en línea general pocos recursos durante la elaboración del básico, pero el tiempo dedicado para la elaboración de la documentación final del proyecto ejecutivo se incrementa considerablemente.

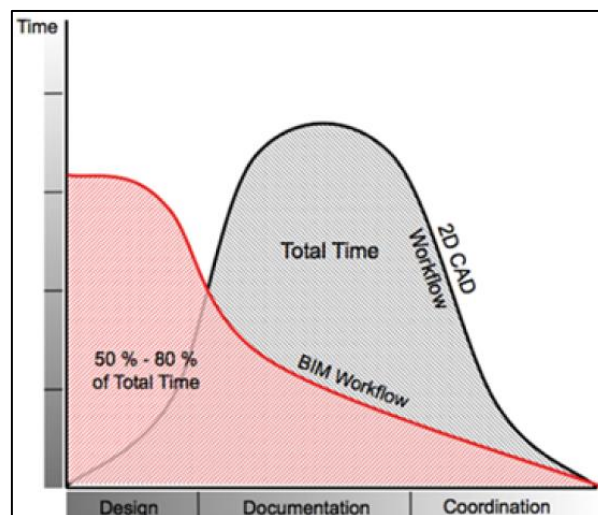


Ilustración 10. Nivel de recursos requeridos en cada una de las fases de proyecto según la metodología empleada.

Fuente:[33]

Pero no todo son mejoras y ventajas para la metodología BIM, ya que aún está en fase de implementación tanto en una visión general del sector como en los equipos de trabajo de los despachos y empresas del mundo de la construcción. Debido a la falta de experiencia y carencia de una metodología de trabajo arraigada en los agentes que emplean BIM, se ha visto en diversas ocasiones que una vez iniciado un proyecto bajo metodología BIM, los agentes implicados observan como su dedicación al proyecto es mucho mayor a lo realizado hasta ahora mediante el sistema tradicional. Pero cuando los encargados de proyectos se plantean

retroceder y volver al uso de las herramientas CAD supone una dedicación incluso mayor que si se hubiese empleado sistemas CAD desde el inicio.

Expertos en herramientas CAD argumentan que resulta más fácil y existe experiencia suficiente para determinar con cierta exactitud la dedicación y empleo de recursos necesarios para la redacción de un proyecto. La falta de experiencia en BIM hace que las estimaciones de recursos, principalmente tiempo, difieran de la realidad.

A continuación se explicará un ejemplo donde se ve más claramente cómo se diferencian en la metodología de trabajo:

Supongamos que se va a modificar una ventana, el proceso en CAD implicaría la modificación en todas las vistas donde se encontrase esa ventana, plantas, alzados, etc. el proceso en BIM solo conlleva modificarla en el modelo y automáticamente se actualiza en todas las vistas.

Si tenemos un gran edificio con cientos de ventanas de distintas tipologías y queremos saber cuántas tenemos que miden 1,20m, con CAD se deberían contar manualmente, con BIM se genera una tabla de planificación que nos indica el número de unidades que tenemos de cada tipo de ventana. Estos son solo ejemplos, pero se sigue la misma dinámica si lo que vamos a realizar son mediciones, presupuestos, etc.

Podemos ver en el ejemplo que hay errores humanos y esto se van arrastrando a lo largo del proyecto con sistemas CAD, pero con BIM se minimizan o anulan, por lo que se ahorraría en tiempo y sobre todo en los costes. [32]

Decidir un sistema de trabajo u otro, marcará el ritmo con el que se pueda desarrollar un proyecto. Solo es cuestión de seleccionar como invertir los tiempos y los conocimientos del equipo que lo vaya a desarrollar.

No se puede decidir que un sistema sea mejor que otro, pero si observas las mejoras que se obtienen, entiendes que BIM es una evolución de los sistemas CAD. Es decir, es un avance que nos permite principalmente ahorrar tiempo en la delineación de planos, porque ya no se ha de interpretar cada sistema constructivo mediante un compuesto de líneas, sino que se traza cada sistema constructivo en 3D. También hace que el proyecto sea más intuitivo y se puedan anticipar posibles errores futuros ya que cada elemento que se introduce es un sistema real, tal y como será en la realidad.

[29][30][31][32][33][34]

2.5 Descripción de conceptos

Las telecomunicaciones, la informática y el Internet han creado una nueva sociedad, la de la información y la comunicación, y el mundo de la construcción no escapa de ese cambio. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) han hecho surgir nuevas formas de trabajo (IPD, Lean Construction, BIM), de aprendizaje (elearning) y de comunicación (Networking, Workshop). A continuación, se hace una breve descripción de estos conceptos empleados a lo largo del trabajo

- BIM: explicado con anterioridad en otros apartados.
- CAD: está explicado en un apartado anterior.
- COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*):

Es una de las vías para la transferencia de datos de información, ha sido desarrollado junto a IFC y con intención de suplementarlo. El objetivo principal de COBie es facilitar y estandarizar la transferencia de la información del proyecto de construcción, desde el diseño, construcción y Facility Management.

- IFC:

Se trata de un modelo de datos, su objetivo es facilitar la interoperabilidad entre plataformas de software distintas. El objetivo de IFC es conseguir una extensa representación de objetos y una continua mejora de intercambio de información entre aplicaciones de CAD (y no-CAD) en el ciclo de vida del edificio. El desarrollo de este tipo de formatos estándar pretende facilitar la integración de los distintos programas que se usan en el sector, correspondientes a cada una de las disciplinas que intervienen en el proceso. Ahora, gracias al BIM, es posible pasar la información de un programa a otro, mediante el empleo de formato IFC. Por ejemplo se puede hacer un proyecto en archiCAD y luego abrirlo con Revit. Esto mismo pasa también con multitud de programas del sector constructivo. Lo que significa una gran mejora debido a costes económicos menores, menor tiempo y menores problemas.

De este modo, el proceso de introducción de datos se simplifica y cada aplicación informática que interviene en el proyecto no necesita una introducción de datos completa, sino que puede aprovechar los datos introducidos en el programa CAD/BIM, con el incremento de seguridad y la reducción de esfuerzo consiguientes.

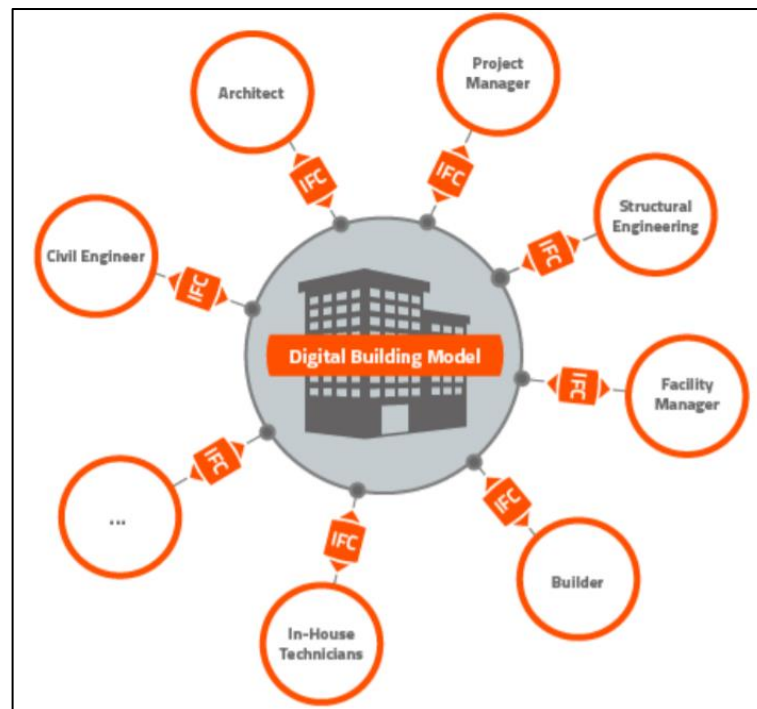


Ilustración 11. Formato de archivo estandarizado IFC para software de arquitectura. Fuente: [51]

- IPD (integrated projects development):

Es un sistema que tiene un enfoque basado en el equipo, integra personas, sistemas, estructuras de negocio, y prácticas en un proceso de colaboración que enmarca los talentos y las ideas de todos los participantes para optimizar los resultados, añadirle valor, reducir desperdicios, y maximizar la eficiencia en todas las fases de diseño, fabricación y construcción del proyecto.

Mediante el IPD, los miembros del equipo trabajan juntos y están comunicados durante todo el proceso de diseño y construcción. Profesionales que tradicionalmente no se comunicaban, ahora lo hacen, y en el proceso evalúan como el diseño y los componentes afectarán (o serán afectados) por decisiones de campo y otros componentes.

En este modelo, primero va el ¿qué?, después el ¿a quién?, luego el ¿cómo? y finalmente se construye.

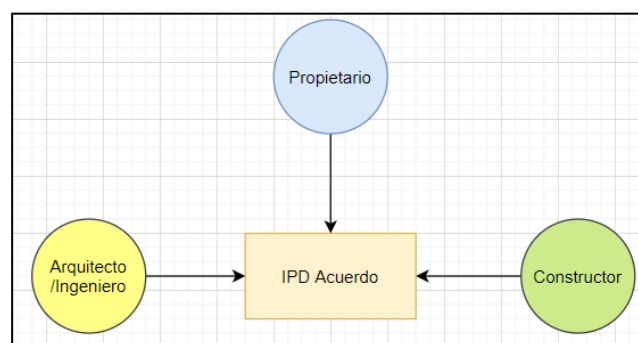


Ilustración 12. IPD. Fuente: elaboración propia.

- LEAN CONSTRUCTION: "construcción sin pérdidas".

Esta metodología se desarrolla con el fin de abordar las causas de muchos de los problemas que limitan la eficiencia en la construcción, centrándose en la reducción de las pérdidas a lo largo del flujo productivo. Su función es minimizar o eliminar todas aquellas fuentes que impliquen pérdidas, puesto que estas pérdidas conducen a una menor productividad, menor calidad, más costes, etc. Lean construction es una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas).

- TIC's:

Son las tecnologías de la Información y Comunicación, es decir, son aquellas herramientas computacionales e informáticas que procesan, sintetizan, recuperan y presentan información representada de la más variada forma. Es un conjunto de herramienta, soportes y canales para el tratamiento y acceso a la información, para dar forma, registrar, almacenar y difundir contenidos digitalizados.

No se puede hablar de TIC sin mencionar Internet. El cual se ha convertido en un medio indispensable y de gran utilidad para los profesionales del sector de la construcción.

[12]

2.6 Estrategias de implantación BIM

La implantación de una nueva forma de crear y ejecutar proyectos constructivos como el BIM, altera y modifica al sector. Por lo tanto, es importante establecer y valorar como se va a implantar esta nueva metodología en cada uno de las pequeñas y medianas empresas del sector.

Normalmente, cuando se habla sobre la difusión BIM en una organización (micro) o en todo un mercado (macro), se emplean dos términos que definen estrategias de implantación BIM, la estrategia Descendente (Up-Bottom) y la Ascendente (Bottom-Up). Aunque también se puede hablar de la implantación Radial (Middle-Out).

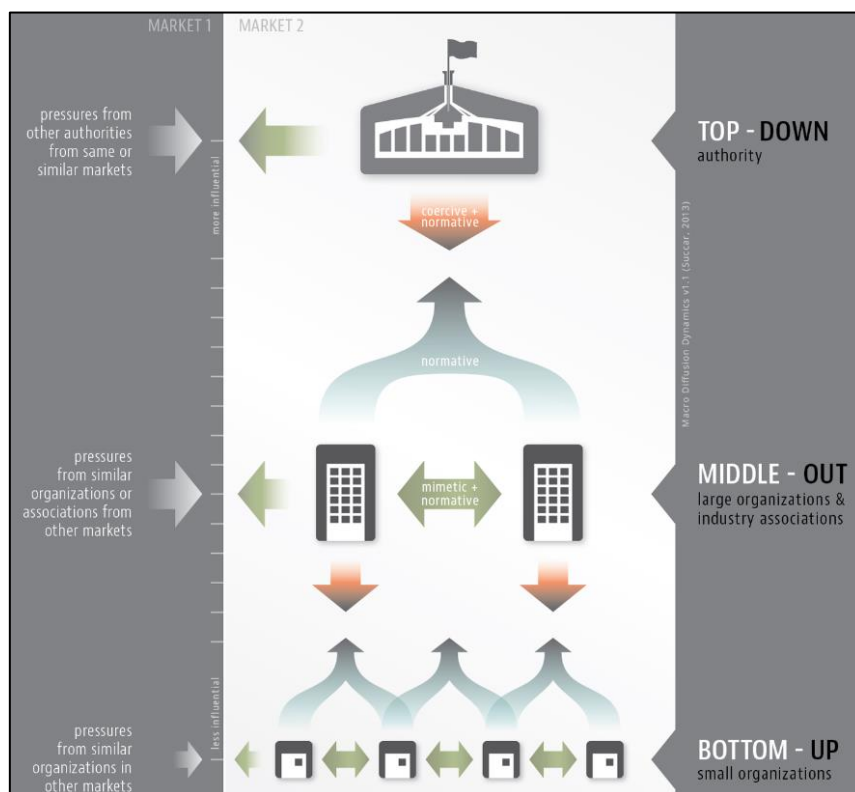


Ilustración 13. Modelo de Dinámicas de Macro Difusión. Fuente: [38]

La difusión descendente ocurre cuando una autoridad ejerce presión, es decir, ordena la adopción de una solución específica que percibe como favorable. Mediante estas presiones, las soluciones empiezan a difundirse a través de la cadena de mando. Además, pueden desarrollarse políticas que ayuden y fomenten el uso de ciertas tecnologías, como la aprobación de normativas que obliguen el uso de ciertos sistemas o subvenciones en la compra de softwares.

La difusión ascendente hace referencia a la adopción de políticas, procesos y tecnologías desde la raíz, sin existir un mando o poder coercitivo. Por ejemplo, en las pequeñas organizaciones,

cuando las soluciones innovadoras o las nuevas herramientas se convierten en una práctica común, es decir, en una metodología de trabajo, tienden a difundirse hacia lo alto de la cadena de mando.

La tercera dinámica es la radial, esta estrategia la aplican normalmente las organizaciones o individuos situados en la zona intermedia de sus ámbitos. A nivel macro por ejemplo, empresas de tamaño medio impulsan en la adopción de una solución a las empresas más pequeñas. También, pueden influir de forma activa a que organizaciones mayores adopten sus soluciones.

Las diferentes organizaciones y mercados muestran una dinámica más que otra debido a una serie de variables sociales o impulsadas por el mercado (oferta y demanda, riesgos y recompensas, y una serie de presiones competitivas). Sin embargo, las dinámicas de difusión descendente, ascendente y radial son complementarias e incluso, mutuamente inclusivas. Pensar que una dinámica puede ser mejor que las otras es erróneo.

[38]

En el caso de la implantación de metodología BIM en España, se busca colaboración entre entidades públicas y privadas que recoja las necesidades de todos los agentes implicados. Mediante la adopción al mismo tiempo de estrategias Descendentes y Ascendentes, se consigue que la Administración lidere la definición de las líneas de actuación a la vez que el sector privado propone el desarrollo de nuevas iniciativas. El trabajo se reparte de manera, que es la Administración la que define las líneas de actuación a la vez que es el sector privado quien desarrolla la solución hasta un nivel de detalle suficiente. Del mismo modo, aquellas iniciativas o propuestas iniciadas por las empresas privadas serán coordinadas e incluidas en los planes y legislación de las Autoridades.

[37]



Ilustración 14. Estrategias de implantación de la metodología BIM en España prevista por es.BIM. Fuente:[37]

2.7 Metodología y herramientas BIM

2.7.1 Software y Hardware

Los softwares utilizados en la metodología BIM son varios:

- Softwares más utilizados por arquitectos: Archicad, Revit y Allplan.
- Software para el cálculo y diseño de estructuras: Cypecad, Robot, Tekla y Tricalc.
- Software para cálculo: Cype MEP y DDS-CAD.
- Software Modelado y Diseño de instalaciones: Revit MEP y Archicad MEP modeler.
- Software para planificación y control de costes: Naviswork, Vico, Gest Mideplan y Synchro.
- Software para coordinación y control de Calidad de modelos BIM: Solibri, BIM collab, Tekla y BIMsight.

Es importante tener claro él o los softwares a utilizar para implantar BIM pero también los sistemas de hardware requeridos, según el alcance que se busque en el desarrollo de proyectos, se tendrá que invertir en equipos adecuados y suficientes para tener un trabajo fluido. Normalmente, las casas de softwares presentan dos tipos de recomendaciones de hardware para cada software; requerimientos mínimos y requerimientos recomendados o de alto rendimiento. Es importante tener en claro que la configuración básica permitirá usar la versión del software elegido; pero no asegura una fluidez completa y genera incertidumbre respecto a si se cumplirán los requisitos mínimos de las siguientes versiones de los softwares, por lo que no es recomendable elegir este tipo de configuración. Respecto a la configuración recomendada, en general permiten una alta fluidez y es muy probable que la máquina sea compatible con las siguientes versiones del software por lo menos un par de años, pero este tipo de configuraciones suelen tener exigencias muy altas y que influyen fuertemente en el coste final del equipo, por lo que es una variable importante para considerar en el momento de evaluar la implementación.

Por otro lado, para que el trabajo colaborativo sea efectivo se debe contar con una red acorde a las necesidades de los equipos que permita un trabajo colaborativo fluido; se puede requerir máquinas adicionales como servidores u otro tipo de equipos, además de una configuración adecuada. Dado el alto nivel técnico que se puede requerir, siempre es recomendable, si es que no está incorporado en la empresa, contar con la asesoría de un especialista en informática y redes, para que en conjunto con el soporte del software se logre una instalación completa, efectiva y eficiente. [58]

2.7.2 Trabajo colaborativo

Lo más importante del BIM es el trabajo colaborativo entre los diferentes agentes, esta forma de trabajar se consigue gracias a los programas informáticos ya que son los que permiten que se pueda trabajar de manera coordinada y simultánea sobre un mismo modelo consiguiendo así optimizar el tiempo y el rendimiento del equipo de trabajo.

Tanto en la fase de diseño como en la de construcción es necesario establecer una plataforma que permita el intercambio de información entre agentes y este es uno de los principales objetivos del BIM. El trabajo colaborativo es posible gracias al BIM y a la modelización virtual consiguiendo así desde cualquier parte del mundo, agilizar y optimizar el sistema. Además, también hace posible la anticipación a los imprevistos que surjan en la fase de proyecto.

Con la metodología BIM se trabaja bajo un modelo 3D lleno de información útil para todos los agentes involucrados durante todo el ciclo de vida del edificio, desde los promotores, despachos de arquitectura, ingenierías, constructoras, administraciones públicas, gestores de inmuebles e incluso para los usuarios finales.

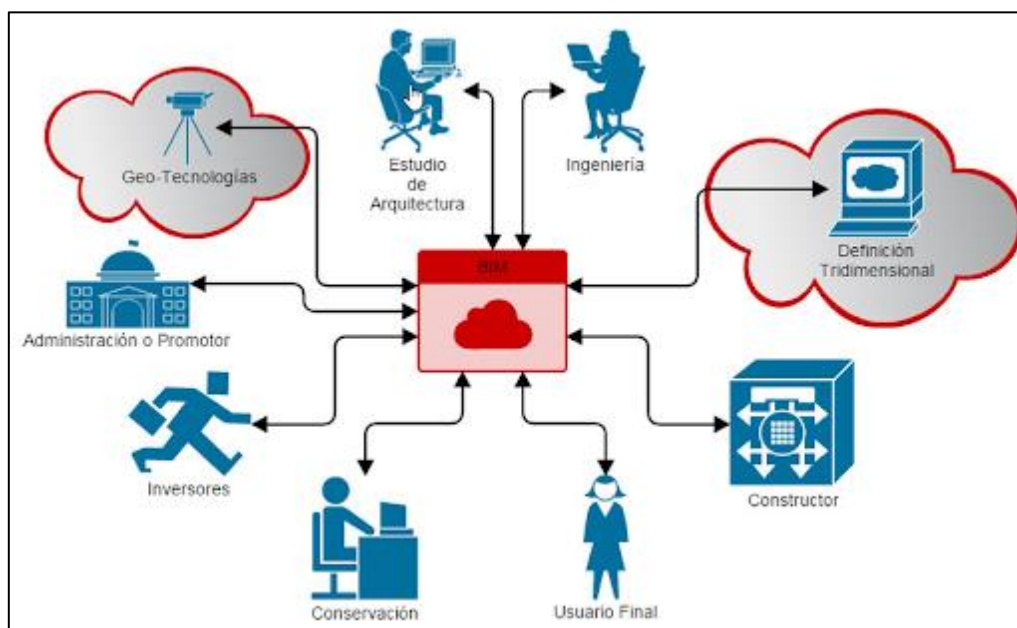


Ilustración 15. Representación esquemática de los diversos posibles agentes involucrados a un modelo BIM.

Fuente:[40]

Dentro de un equipo multidisciplinar y entendiendo el BIM como una metodología que abarca muchos aspectos de un proyecto, cada uno tendrá la posibilidad de trabajar la parte que le corresponda con unas competencias definidas por cada profesional u organización involucrada en el proyecto. Por tanto, surgirán los perfiles o roles BIM, previamente definidos por el BIM Manager, ésta será la persona que, a través de su formación y experiencia, gestionará y controlará cada una de las fases de este nuevo proceso.

El trabajo colaborativo se puede definir con estos puntos clave:

- Tecnología cliente-servidor:

Existirá un servidor central que mantendrá el modelo BIM completo y actualizado en cada proyecto, en este servidor se almacena el modelo. Por otro lado, los miembros de cada equipo trabajarán en ordenadores locales e irán recibiendo y enviando cambios entre el servidor y su software BIM.

- Roles o perfiles:

Definir las obligaciones y compromisos que deben mantener distintos profesionales en el proceso. Incluye tanto la descripción del cargo en si como la conexión existente con los otros integrantes del equipo de trabajo. Según el perfil y las cualidades que tenga cada trabajador, el BIM Manager, distribuirá las tareas, pudiendo crear perfiles híbridos para personas con diversas competencias.

- Mensajería integrada

Con el objetivo de poder hacer un seguimiento del proceso, tener trazabilidad y poder actualizar progresivamente el modelo a medida que se vaya definiendo, es fundamental definir y establecer el centro de comunicaciones que mantendrá el flujo del modelado.

- Administrador del servicio web

Para poder administrar el proyecto y el servidor, es necesario que el administrador del servicio web tenga acceso universal desde cualquier ubicación ya que será el encargado de separar los jefes de tecnología (BIM Manager) y los coordinadores de proyecto (Coordinador BIM), permitiendo un acceso controlado.

En resumen, el trabajo colaborativo puede resolver muchos problemas ya que facilita la posibilidad de trabajar en un mismo modelo desde casa o el despacho de manera colaborativa pudiendo así ser más flexibles, escalables y ofrecer más variedad de servicios sin estar los trabajadores necesariamente ligados laboralmente o en el mismo lugar y al mismo tiempo.

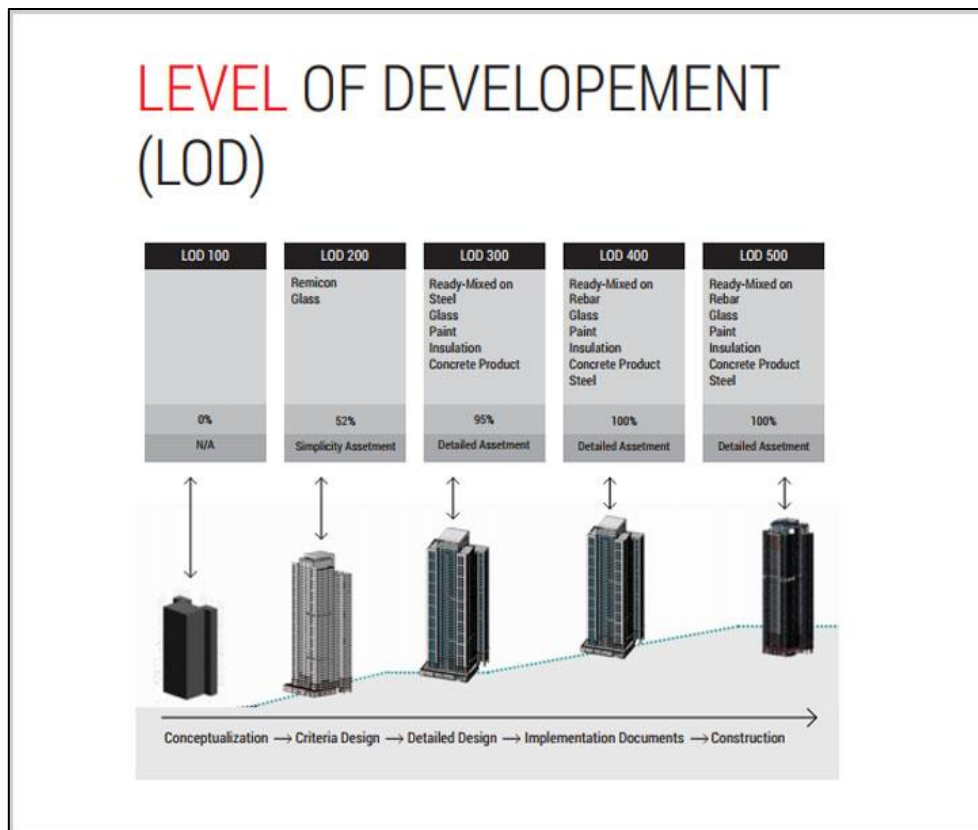
[41] [42] [43] [44]

2.7.3 LOD

LOD, del inglés “Level of Development”, es un indicador que nos dice el nivel de desarrollo que en cada caso, tiene o se ha de ejecutar en el modelo BIM de un proyecto. Es necesario definir en qué nivel de detalle o desarrollo se hará el proyecto en cada fase puesto que el nivel de desarrollo en la metodología BIM es infinito. Cada uno de los niveles que se plantean determina de modo general los límites para así acotar el avance y por tanto, evitar una evolución descontrolada del proyecto.

Estos niveles de desarrollo se pueden diferenciar de manera resumida en:

- LOD 100: Visión general donde queda reflejado el volumen, la orientación y área construida. Es decir, es un diseño conceptual del proyecto. Equivale a un 20% de la cantidad de información total posible.
- LOD 200: Nivel básico o esquematizado que incluye información dimensional parametrizada. Equivale a un 40%.
- LOD 300: en este nivel los elementos ya incluyen funciones determinadas, además de sus dimensiones geométricas y corresponde a un 60% de la cantidad de información total posible.
- LOD 400: ya en este nivel los elementos cuentan con la información de un LOD 300 + los parámetros de un modelo concreto, fabricante, coste, etc. y se contempla ya a nivel de proyecto de contratación o construcción, equivaliendo a un 80% de la cantidad de información total posible.
- LOD 500: a este nivel se le conoce como “AS BUILT”, es decir, hace referencia a un nivel en el que el modelo es una la réplica de gran fidelidad a la edificación ya construida. Este nivel se entiende que contiene el 100% de la información total posible, aunque realmente no tiene por qué ser así, como a continuación aclararemos.



Il·lustració 16. Ejemplo niveles de definición en apoyo estructura metálica. Fuente:[46]

Es importante aclarar que el nivel de desarrollo de un modelo BIM (LOD) es el promedio de LODs de los diferentes elementos que componen el modelo, es decir, puede que no todos los elementos necesiten o simplemente no tengan el mismo nivel de desarrollo y por tanto, se debe tener en cuenta la suma de elementos y sus respectivos niveles de desarrollo. También es muy importante partir de las necesidades reales del cliente (de su proyecto), tanto las necesidades primarias como las finales. Es precisamente de esas necesidades de donde se debe desprender el LOD necesario a alcanzar en los diferentes elementos para conseguir así los objetivos identificados con la mayor agilidad, precisión y ahorro económico.

En esta línea cabe recordar que el modelo BIM es un elemento vivo que permite ser alimentado de forma gradual, según las necesidades/fases del proyecto y por tanto no tiene sentido llevarlo a un LOD 500 si con un LOD 300 se obtiene toda la información necesaria para cubrir los objetivos del proyecto. Es habitual que los clientes soliciten el nivel máximo sin necesitarlo, con el consiguiente gasto de tiempo y dinero innecesarios, cuando realmente una de las ventajas y de las esencias de la metodología BIM es esa interoperabilidad que permite una evolución del modelo fiel y precisa sin anticipaciones innecesarias.

2.8 Dimensiones BIM

Cuando se habla de sacar todo el rendimiento BIM, no solo se habla de las 3 dimensiones, significa toda la posibilidad de información que se pueda adjuntar. En la actualidad se habla de 7 dimensiones BIM, aunque algunas fuentes llegan incluso a especificar los requerimientos y beneficios de hasta 10 dimensiones. Se pueden diferenciar las siguientes dimensiones BIM:

- 1D Concepto:

Establecimiento de las bases para los proyectos colaborativos

- 2D Vectorización del Boceto:

Establecer el flujo de trabajo y los procedimientos organizacionales (plantillas) en torno a BIM de las distintas áreas de trabajo implicadas.

- 3D Modelado de información del edificio:

Corresponde a la modelación en 3D del conjunto de elementos del edificio que se quieren representar, de forma paramétrica y unificada. Enfocado a representar toda la información geométrica por medio de elementos integrados, tales como muros, suelos, techos, pilares, puertas, etc. No es solo algo visual, si no que comprende toda la información necesaria para las siguientes fases. Coordinación de las distintas disciplinas (arquitectura, estructura e instalaciones), control de calidad y viabilidad constructiva y la preparación de la documentación para la comercialización.

- 4D Tiempo/Planificación:

Hace referencia a la dimensión temporal con el objetivo de establecer los plazos de ejecución y lograr que se cumplan. Con la ayuda del software BIM se puede realizar un cronograma de las actividades de proyecto, pudiendo asignar tiempos a las distintas partes de la obra y sus elementos, con el fin de programar totalmente la ejecución del edificio antes de su inicio. La utilidad del 4D es su dinamismo, la optimización de los recursos y la capacidad de anticiparse a los posibles conflictos que puedan surgir en obra, para ser subsanados en la fase de diseño, donde el coste es notablemente inferior que en la fase de ejecución.

- 5D Coste:

En la quinta dimensión BIM se incorpora el control de costes y estimación de gastos del proyecto, con el fin de mejorar la rentabilidad del edificio. Se definen la cantidad de materiales y costes de cada elemento, y se organizan los gastos. A la vez se estiman los costes para la fase de uso y

mantenimiento del edificio, se generan presupuestos, se realizan los estudios de viabilidad económica, se gestionan las ofertas y contrataciones.

- 6D Simulación energética y Sostenibilidad:

Esta dimensión, también llamada BIM verde, nos da la posibilidad de saber cómo será el comportamiento del edificio antes de empezar la obra. Permite hacer simulaciones de las alternativas del proyecto para llegar hasta la forma óptima y sostenible. Por lo tanto, hace referencia a todo lo relacionado con ecoeficiencia, certificaciones en sostenibilidad y simulaciones sobre el comportamiento energético.

- 7D Mantenimiento/Seguimiento:

La séptima dimensión abarca la gestión del ciclo de vida del proyecto y sus servicios asociados, es decir, define una guía para alargar y mantener la calidad del proyecto una vez construido. Es una dimensión importante para los propietarios ya que repercute en los costes de conservación.

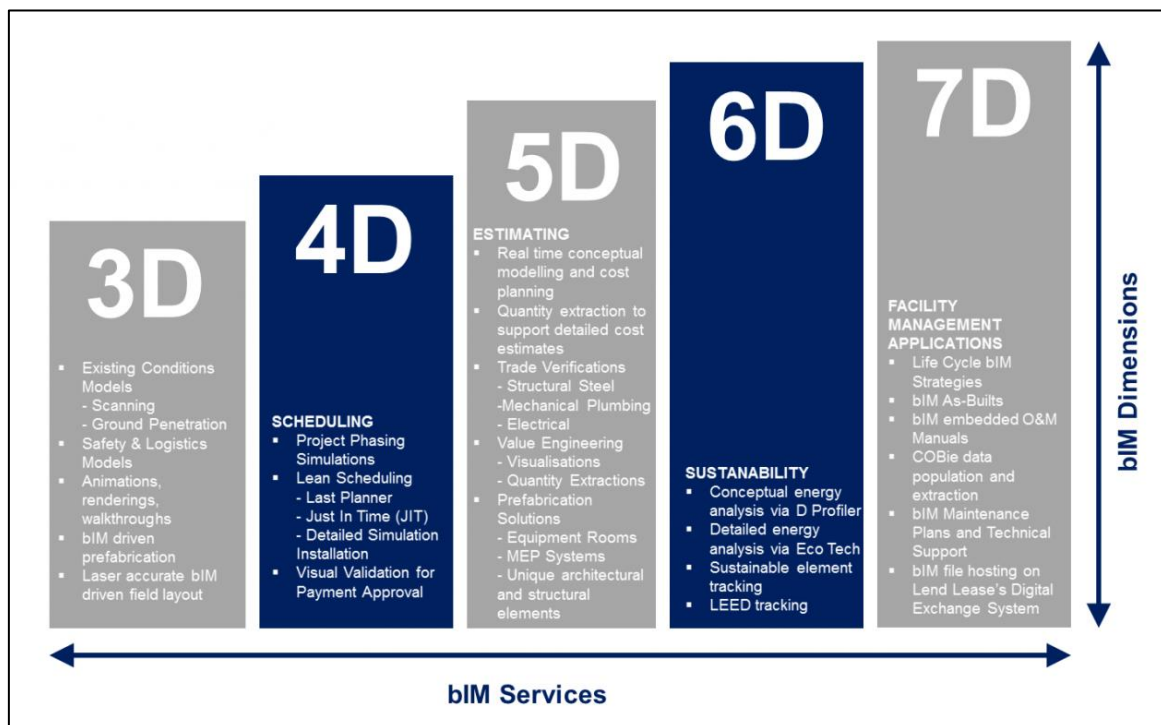


Ilustración 17. Fuente: [48]

3. Desarrollo

3.1 Implantación BIM en organizaciones

La decisión de incorporar sistemas BIM en una empresa o en cualquier otro tipo de organización supone un cambio en la metodología de trabajo, una implantación que inicialmente puede ser costosa y poco productiva. Por ello, tiene que haber siempre un plan estratégico en el que todos los profesionales de una misma identidad deben caminar hacia el mismo objetivo. Además, es importante tener en cuenta que no es una decisión tomada únicamente por las personas encargadas de la dirección de una empresa, sino que los trabajadores también deben involucrarse.

En el libro “BIM and Construction Management” de Brad Hardin y Dave McCool, se insiste en la idea de que BIM no sólo implica implantar un software sino también procesos y comportamientos.

- Comportamientos: BIM facilita el trabajo colaborativo tanto a nivel interno, entre distintos departamentos, como a nivel externo, entre los distintos agentes y empresas que intervienen. Por ello, durante la implantación BIM hay que ser muy consciente y saber gestionar de manera correcta la resistencia al cambio a nivel de las personas, nivel departamental y nivel organización.
- Procesos: BIM es una metodología distinta a las convencionales que parte de modelos tridimensionales con información no gráfica (parámetros y datos) incluida, de los cuales se va obteniendo y añadiendo nueva información a lo largo de la vida del proyecto o infraestructura. Por tanto, será necesario revisar los procedimientos de trabajo actuales de la empresa. Por metodologías se entiende que es la interacción entre las herramientas y las personas que van a usarlas, dicho de otro modo, el método de uso de las herramientas.
- Herramientas: la generación de modelos BIM así como el uso de ellos implica tanto la adquisición como la formación en software y hardware específico, incluyendo equipos informáticos, dispositivos móviles, etc.

Es imprescindible entender que para poder alcanzar los beneficios de la implantación BIM, no basta con cambiar las herramientas si no que las empresas deben adaptarse a las nuevas metodologías, y en gran medida cambiar su cultura empresarial.

En el libro anteriormente citado se describen tres estrategias para implantar la tecnología BIM en una empresa:

- Estrategia nº 1:

La primera estrategia es la menos dramática porque es la que necesita menos rigor y reflexión. Consiste en añadir un nuevo software a los actuales sistemas. Esta estrategia conlleva un alto riesgo ya que se crea confusión a la hora de escoger que herramienta usar en cada caso. Por tanto, esto puede significar una vuelta a los sistemas anteriores olvidándose del sistema BIM recientemente adquirido.

- Estrategia nº 2:

Esta estrategia es la más dramática de las tres y consiste en intercambiar uno de los sistemas tradicionales por el nuevo sistema BIM. Su principal inconveniente es que no logra el aprovechamiento de todo el potencial ya que no tiene en cuenta las posibles nuevas interrelaciones con el resto de los sistemas.

- Estrategia nº 3:

La tercera estrategia tiene en cuenta tanto la tecnología a implantar como los nuevos comportamientos y también la integración de los procesos nuevos con los ya existentes. Desafortunadamente, es la estrategia menos conocida, aunque está aumentando su popularidad.

La estrategia 3 se podría descomponer en las siguientes fases:

FASE 1: ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN

En esta fase se hace un estudio de la empresa donde se desea implantar la metodología BIM. Se deben identificar aspectos tales como la estructura organizativa, las tipologías de proyectos, los ciclos de vida, los productos y/o servicios que ofrece, las necesidades de la empresa, las personas clave... etc.

Habitualmente en esta fase se genera un Informe de Diagnóstico.

FASE 2: SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE SERVICIOS O PRODUCTOS A IMPLANTAR

En esta fase la dirección estratégica de la empresa selecciona y prioriza los servicios o productos BIM a implantar desde criterios estratégicos, comerciales y técnicos.

Se debe entregar como mínimo el listado de productos y servicios priorizado.

FASE 3: RETORNO DE LA INVERSIÓN

Se ha de valorar económicamente qué repercusiones implica la realización de una inversión, para finalmente poder estimar una rentabilidad y valorar la conveniencia o no de dicha inversión. Por ello, resulta imprescindible una evaluación de costes incurridos, tanto de costes fijos (softwares) como variables (consultorías, cursos de formación). Por otro lado, también se debe estimar

cuáles serán los beneficios que obtendrá la empresa, desde mejoras de productividad, incremento del valor de los trabajos ofrecidos y otros.

Para las pequeñas y medianas empresas no son adecuados grandes procesos de consultoría con sus respectivos informes, análisis, diagnosis, etc. El motivo no es una cuestión técnica, sino que normalmente responde a su capacidad de inversión. Por su naturaleza, las PYMEs no suelen tener una gran capacidad de inversión con un ROI a 3 años, por ejemplo. Por lo contrario, estas compañías necesitan procesos más ajustados y amortiguados en el tiempo y, sobre todo, relacionados con proyectos que estén desarrollando.

FASE 4: PLANIFICACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

Se identifican las etapas de implantación, la metodología a seguir para este proceso, y los recursos humanos y materiales necesarios. Durante esta etapa, también se define y ajusta el programa de actividades, se estiman los costes de implantación, así como los riesgos, o se determina la metodología de evaluación del éxito de la implantación, entre otras cuestiones.

Esta etapa culmina con la entrega de un Plan de Implantación BIM.

FASE 5: EJECUCIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

En esta etapa se llevará a cabo lo descrito en el Plan de Implantación BIM. Algunas de las tareas a realizar para cada uno de los productos/servicios seleccionados podrían ser: selección del equipo y del proyecto piloto, evaluación de los softwares del mercado, selección de software/s, adquisición de licencias para el equipo piloto, formación del equipo piloto, desarrollo del proyecto piloto previamente seleccionado, actualización de los procesos teóricos BIM con la experiencia del piloto, documentación del procedimiento para el producto/servicio seleccionado, etc.

El proyecto piloto es una buena forma para empezar y así poder comprobar los cambios existentes en la metodología de trabajo y que todos los miembros del equipo se vayan adaptando a esta nueva forma de trabajo. Con este banco de pruebas se pueden evitar muchos errores en futuros proyectos.

Si esta etapa se realiza según lo previsto, la empresa ya tendrá los procedimientos para los productos/servicios documentados donde también se incluirá en detalle cómo trabajar con la nueva tecnología.

En este proceso, se tendrá en cuenta a las personas que habitualmente trabajaban en dichos productos o servicios para así disminuir el riesgo de la resistencia al cambio.

FASE 6: REDACCIÓN DE OTROS PLANES (ADQUISICIONES, RRHH, FORMACIÓN, COMUNICACIONES...)

Posiblemente, será necesario elevar la implantación al resto de departamentos que intervienen en los productos o servicios seleccionados y no solo formar a las personas seleccionadas para llevar a cabo el piloto, por tanto, habrá que estudiar la adquisición de nuevas licencias. También será necesario estudiar posibles nuevos recursos humanos a incorporar a la plantilla e incluso la comunicación tanto a nivel interno como externo que se llevaría a cabo sobre la Implantación BIM ejecutada en el producto o servicio X.

En consecuencia, esta fase, de ser necesaria, finaliza con la redacción y cierre de dichos planes.

FASE 7: ADQUISICIÓN DE LICENCIAS Y FORMACIÓN

Esta fase incluye todos los procesos relacionaos con compras, éstos suelen requerir un tiempo, por ejemplo, para la redacción del pliego, búsqueda de posibles suministradores, redacción y evaluación de ofertas, adjudicación, negociación, cierre de contrato, etc.

Este proceso debe finalizar con la adquisición de las licencias y la formación estimada en los planes de la fase 5 ya adquirida. Por otro lado, también se elaborarán todos los entregables necesarios para cada una de las tareas anteriormente mencionadas.

FASE 8: CONTRATACIÓN DE NUEVOS PERFILES

Durante el proceso de implantación, la empresa posiblemente detecte la necesidad de incorporar a su plantilla nuevos perfiles como Coordinadores BIM o BIM Managers. La posible incorporación, así como el sistema para llevarlo a cabo quedarían detallados en la fase 5.

FASE 9: FORMACIÓN POR DEPARTAMENTOS/UNIDADES DE PRODUCTO/SERVICIOS

Se instalarán las licencias y se impartirá la formación a las personas necesarias, según lo estimado en el plan de Formación.

FASE 10: EVALUACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

Según los indicadores detallados en el Plan de Implantación BIM, la empresa llevará a cabo una evaluación del éxito de la implantación con independencia de que pueda repetir este proceso de manera periódica para poder contar con un origen inmediato sobre el que comparar.

FASE 11: COMUNICACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

Si en la fase 5, en el Plan de Comunicación se ha detallado, la empresa que ha llevado el proceso de implantación llevará a cabo la comunicación de ésta tanto a nivel externo como a nivel interno.

[35] [36] [41]

3.2 Riesgos en la implementación BIM en la pequeña y mediana empresa.

La naturaleza de las pequeñas y medianas empresas tiene mayor diversidad si se compara con las grandes empresas de la construcción, no es sólo su estructura interna si no también su modelo de negocio lo que implica que dentro del concepto “pequeña y mediana empresa” existan numerosas casuísticas. En consecuencia, la productividad de la implementación BIM variará entre las distintas pequeñas y medianas empresas (Forgues, Staub, Tahrani, & Poirier, 2014) y los riesgos identificados con relación a la misma serán también distintos.

Además, es necesario considerar que los usos del BIM dentro de las empresas pueden ser múltiples y con ello la finalidad de los modelos.

Cada una de las pequeñas y medianas empresas debe evaluar su caso particular, a que riesgos están más expuestos y que medidas podrían tomar, en definitiva, aplicar una política de gestión del riesgo durante el proceso de implementación. Esto considera de gran importancia pues se ha demostrado que la principal razón por la que tanto grandes como pequeñas y medianas empresas no usan BIM, es por una falta de entendimiento del riesgo (Chawla, 2015).

Diferenciamos entre dos tipos de riesgos: riesgos internos y riesgos externos. Los externos provienen de la relación de la empresa con el entorno exterior, mientras que los riesgos internos provienen de dentro de la organización, dicho de otro modo, riesgos en la implementación y riesgos post implementación (Tomek & Matejka, 2014). En relación a estos últimos cabe destacar que, si en el mercado en general se implementa el uso del BIM, se concentrarán e incrementarán las oportunidades de mejorar los negocios de las empresas de acuerdo a esta tecnología, pero si por el contrario el mercado no termina por usar el BIM, su implementación en la empresa se convierte en un riesgo y en especial en la pequeña y mediana empresa, debido a su estructura, por lo general, más ligada a la colaboración. [39]

A pesar de que el término riesgo tenga en general una connotación negativa, científicamente se define como positivo y negativo. Esta polaridad hace que simultáneamente un riesgo pueda ser considerado como una oportunidad o bien como una amenaza (Tomek & Matejka, 2014). En ese sentido, la principal recomendación que se puede realizar para tener éxito en la implementación BIM es identificar con anterioridad los posibles riesgos y gestionarlos de forma que las amenazas se conviertan en oportunidades.

En general, los riesgos en la implementación del BIM en la pequeña y mediana empresa, vienen condicionados por la estructura financiera de las mismas. Sin embargo, conviene matizar que

esto no supone que los riesgos de la implementación sean directamente sus costes si no la gestión de los riesgos en sí mismos.

Dicho de otra forma, podemos distinguir unos riesgos visibles, aunque no necesariamente reales, que están generalizados entre la pequeña y mediana empresa y que únicamente se centran en los costes, “los programas tienen costes elevados”, “la formación tiene costes elevados”, “trabajar en BIM es más caro”, etc. Y podemos distinguir una serie de riesgos, quizás no tan visibles o no tan generalizados pero reales, los definidos de forma general en este apartado.

Son estos últimos a los que tenemos que prestar realmente atención y planificar y gestionar de forma correcta en el proceso de implementación BIM para que este sea exitoso, pues de esta forma la empresa podrá ser consciente de los “costes de implementación” y hacer que sus consecuencias sean menores que los beneficios que aportará.

En ese sentido se recomienda que la empresa sea capaz de elaborar un plan estratégico de implementación BIM antes de pasar a la acción, esto hará que tenga un mayor conocimiento sobre el proceso que va a llevar a cabo y que la transición se pueda realizar de forma progresiva y efectiva. Este análisis inicial permitirá identificar los objetivos al implementar el BIM en el modelo de negocio y saber dónde focalizar los recursos de tiempo y dinero, estableciendo unos objetivos claros a corto y largo plazo que serán revisables durante el proceso. Además, permitirá identificar los posibles riesgos y lo más importante, poder gestionarlos en tiempo y dinero de forma progresiva impidiendo que el factor económico sea el impedimento de implementar BIM en la empresa. [39]

A continuación, se explican varias cosas que se han de tener en cuenta si se quiere disminuir el riesgo al implantar BIM en una empresa:

- No se trata solo del software

El mayor coste nunca será el software sino el cambio de mentalidad que tiene que existir en la empresa. BIM es un proceso y esto es algo que afecta a todos los niveles. Implantar BIM tampoco significa que todos los empleados de la empresa deban tener un software de modelado instalado. Algunos sólo van a necesitar chequear, otros van a necesitar medir. Existe software gratuito perfectamente válido para este uso, que no tiene por qué repercutir en los gastos de la organización.

- La tecnología tiene un papel fundamental:

La tecnología juega un papel clave en el proceso de implementación BIM y no es posible una implementación BIM sin tecnología, por lo que una de las principales preocupaciones de las

empresas suele ser la selección del software apropiado (Zakaria, Ali, Tarmizi, Ponting, & Hamid, 2013). Esta preocupación es correcta ya que una mala elección puede conllevar el riesgo de que la empresa no sea capaz de alcanzar sus objetivos, añadiendo además el hecho de en la estructura económica de la pequeña y mediana empresa resulte más complicado o tenga un mayor impacto el tener que cambiar de software durante el proceso de implementación, implicando nuevos costes en licencias y formación.

Es necesario considerar además que es indispensable analizar con anterioridad que necesidad real de herramientas tiene la empresa y considerar que existen soluciones de software flexibles, que permitirán que la inversión tenga un menor impacto y pueda ser más progresiva.

- Se ha de conocer bien la empresa donde se implantará la metodología BIM:

BIM necesita un proceso de trabajo más colaborativo que el habitual y una comprensión más profunda de la tecnología. Se ha de valorar dónde empieza la compañía, si existe ya una buena filosofía a la hora de trabajar en equipo o, por el contrario, cada persona tiene su propio paquete de trabajo bien diferenciado. También es importante entender en qué punto está la compañía. Si ya cuenta con unos estándares de trabajo y éstos son suficientemente flexibles. Dar el salto a BIM no supondrá un enorme esfuerzo, sin embargo si la compañía tiene unos estándares demasiado rígidos puede que no todos sean traducibles a BIM y, si no cuenta con ningún estándar, habrá que comenzar a generarlos desde el principio, para ello habrá que elaborar un plan a seguir.

Es necesario que la empresa tenga conocimiento sobre los procesos de implementación y sea capaz de establecer unos protocolos adecuados para la transición de su forma de trabajo tradicional a la nueva metodología de trabajo. Si bien existe el entendimiento general de que este factor es aplicable únicamente a empresas de gran tamaño, y que el hecho de tener una estructura más reducida hace que no sea necesario en la pequeña y mediana empresa, se trata de una idea incorrecta. Si la implementación BIM es débil o incorrecta, la productividad esperada no se alcanzará a largo plazo.

Una de las razones que se atribuyen a esta falta de conocimiento sobre los procesos de implementación BIM es la falta de guías y recomendaciones. Sin embargo, es cierto que estas son necesarias, pero también es necesario que las empresas comprendan que no existe una receta tipo y que el modelo de implementación llevado a cabo en una empresa no se puede aplicar directamente a otra y esperar que sea exitoso. Por ello y para evitar este riesgo, cada empresa deberá analizar su estructura y modelo de negocio y establecer una estrategia propia, con objetivos a corto y largo plazo, para la adaptación a las nuevas

metodologías. Para ello, las empresas podrán contar o no con ayuda externa en este proceso, pero en cualquier caso, deben de ser conscientes de que el proceso es necesario.

- Se ha de tener en cuenta a los departamentos y muy especialmente, a las personas que llevarán a cabo los procesos BIM. No se puede tratar a todo el mundo por igual:

Es necesario formarse en el manejo de las herramientas pero es vital formarse en el proceso de trabajo. Dicho esto, es necesario puntualizar que ni los procesos ni probablemente las herramientas, sean los mismos en las distintas empresas, no siendo lo mismo un despacho de arquitectura, que una pequeña constructora, que una ingeniería, etc. pudiendo estar todos englobados bajo este término de “pequeña y mediana empresa”.

Otro de los riesgos asociados a las personas es la resistencia al cambio. Como todo cambio, la implementación del BIM dentro de la empresa supone un esfuerzo que puede hacer que parte de los involucrados se resistan a llevarlo a cabo. Sin embargo, es necesario considerar que en la estructura de la pequeña y mediana empresa, este riesgo suele ser menor que en las grandes organizaciones ya que en muchos casos, quien toma la decisión de realizar el cambio y quien lo ejecuta son mucho más cercanos o incluso las mismas personas lo que hace que estén más convencidos y que la resistencia al cambio sea menor.

- Es necesario que haya técnicos cualificados tanto en producción como en fases previas y posteriores:

En fase de producción: necesidad de técnicos con conocimiento de la metodología, uso de las nuevas aplicaciones BIM y otras tareas (prefabricación industrializada, impresión 3d, estandarización, etc.)

En fases previas: necesidad de conocimientos adicionales (escaneado 3D, termografía, fotogrametría digital, drones, modelización de terrenos y edificios existentes, etc.), desarrollo de productos digitales por parte de los fabricantes.

En las fases posteriores, durante la operación y mantenimiento del edificio, donde normalmente pequeñas empresas suelen realizar tareas de conservación y reformas de menor entidad.

- Se debe seguir un plan para la implantación BIM y la empresa ha de comprometerse con él:

Si la decisión de implantar BIM viene de un mando intermedio de la organización seguramente el proceso no termine de llevarse a cabo. La decisión de implantar BIM tiene que empezar desde arriba de la jerarquía empresarial ya que, normalmente así, la gente

acoge mejor el proceso de implantar BIM, puesto que piensa que es algo que puede afectar a su futuro profesional.

- Es recomendable generar roles y establecer un equipo capaz de llevar el cambio a cabo: Establece un equipo capaz de llevar el cambio al BIM. Establece roles que estén claramente definidos y haz un seguimiento de los progresos del proceso dentro de la empresa.

- Es imprescindible dar formación sólo cuando sea necesario y, cuando sea necesaria, dar tanta como haga falta:

Es aconsejable dar formación para poder implantar con éxito el BIM pero es necesario elegir muy bien el momento para darla.

Dar formación inmediatamente puede que no sea la mejor opción si se quiere implantar BIM como una metodología para el futuro pero no se tienen clientes que lo estén pidiendo. El personal asistirá al curso y seguramente lo olvidará ya que pasará tiempo sin utilizar estas tecnologías. En cambio, responderán mucho mejor a la formación si necesitan emplear la tecnología a diario. En ese momento es recomendable dar tanta formación como el personal necesite.

- Generar unos estándares y seguirlos:

Trabajar con BIM es más sencillo si todo el equipo puede referirse a unos estándares de la empresa que les guíe durante el proceso. Al principio puede que los estándares BIM sean unas sencillas guías de buenas prácticas.

- Generar desde el principio una biblioteca BIM para la empresa

Los softwares de representación BIM contienen bibliotecas genéricas de sistemas y elementos constructivos para poder empezar a proyectar con cada uno de los comandos de trabajo que ofrecen los programas, aunque muchos de éstos por defecto sean sistemas vacíos de características técnicas, es decir, genéricos.

Cuando una empresa o despacho empieza a trabajar en BIM tiene que previamente organizarse y decidir qué y cómo va a estructurar su biblioteca de objetos paramétricos o familias, de manera que vaya creciendo a medida que se vayan realizando proyectos. Una vez se obtenga una biblioteca lo suficiente amplia y detallada, se ganará en eficiencia de trabajo al no perder tiempo en generar y desarrollar familias de nuevo para cada proyecto. El material BIM que se genera desde el primer encargo o proyecto resulta muy útil para generar unas pautas y saber cómo ha respondido la empresa en procesos reales. Por ello es bueno generar una biblioteca BIM donde guardar todos los avances y que éstos estén al

alcance si vuelven a necesitarse. En la biblioteca es aconsejable dejar claro el autor de cada documento. Así en un futuro el equipo podrá dirigirse a él en caso de duda.

- Invertir más tiempo para coordinación y gestión y menos para producción

Se deberá tener en cuenta que los tiempos con BIM son distintos. Para ahorrar tiempo, la persona que coordine y gestione un proyecto deberá entender sobre BIM. Si los proyectos están bien coordinados y gestionados será mucho más sencillo que el proyecto avance.

- Hacerlo lo más simple posible:

Los modelos de BIM pueden llegar a ocupar mucho si no se elaboran con cierta cabeza. Es importante que se tenga en cuenta hasta que nivel de definición es necesario llevar el modelo de un proyecto. El equipo ha de entender que es necesario invertir tiempo en pensar cómo simplificar el modelo lo máximo posible e incluso en diseñar una estrategia de división del modelo antes de comenzar a modelar. De lo contrario habrá modelos de más de 2,5 Gb y la mitad de los ordenadores de la empresa no podrán con él.

Finalmente, concluir este apartado resaltando que implantar BIM con rigor requiere de una estrategia meditada que se reflejará en el Plan de Implantación BIM. Y también, que no sirve de nada añadir herramientas o sustituirlas por nuevas si no se implica al personal que las tendrá que utilizar para desarrollar sus procesos, ni en la evaluación ni en la selección ni en la revisión del programa formativo de las mismas.

[35] [36] [39]

3.3 Ventajas de la implementación de las herramientas BIM

El uso de la metodología BIM en los proyectos aporta múltiples beneficios asociados tanto a la productividad en la gestión del proyecto, como en la mejora a nivel de empresa, es decir, en la comunicación de las personas que trabajan en ella. Estas ventajas permiten a la industria de la construcción ser más efectiva y sobre todo, más eficiente. Los beneficios incluyen a ingenieros, arquitectos, constructores y clientes puesto que el producto que se obtiene, un modelo centralizado con toda la información que se le incluyó del proyecto, es posible utilizarlo incluso una vez construido y finalizado el proyecto.

Algunos de los beneficios más importantes se destacan a continuación:

- Trabajo multidisciplinar/colaborativo.
- Comprobación de interferencias, es decir, antes de construir se puede comprobar si hay algún problema de integración entre los diferentes elementos de una forma segura y rápida.
- Integración del 2D y 3D.
- Generación de forma automática de toda la documentación del proyecto consiguiendo así un aumento de la productividad y, por tanto, un ahorro de tiempo y costes.
- Conocimiento del impacto energético de cada uno de los materiales que componen la obra. Además, la plataforma permite trabajar los proyectos desde el rendimiento energético.
- Evaluación temprana de costes. Desde la fase inicial del proyecto se va incorporando información en cada uno de los elementos que se proyectan, por lo que permite ir calculando costes.
- Fácil visualización de las distintas fases del proyecto para los distintos stakeholders.
- Tiene aplicabilidad como una herramienta de Marketing.
- Permite una gestión más eficaz de los recursos humanos.
- Permite una programación visual, por lo tanto, facilita la comprensión de las dependencias que unas tareas tienen con otras.
- Consigue aumentar y mejorar la productividad.
- Supone una mejor en la eficacia de los proyectos, ya que los profesionales podrán trabajar en el mismo proyecto de forma simultánea y en un modelo actualizado, por tanto, la coordinación aumenta enormemente.
- Coherencia de la documentación: Puesto que toda la documentación viene de un solo modelo, la documentación será siempre coherente y habrá una perfecta coordinación

- entre todos los documentos del proyecto. Evitando también las duplicaciones y mejorando la organización del trabajo.
- Se dedicará menos tiempo a la elaboración de documentos y traspaso de información
 - Con la accesibilidad del proyecto por parte de todos los integrantes se consigue una transparencia, de manera que todos los miembros de un proyecto pueden comprobar el estado actual del mismo en cada momento.
 - Aunque la adopción de nuevas formas de trabajo siempre resulta un poco complicada al inicio, las técnicas de colaboración se aprenden de forma muy sencilla, evitando así una formación exhaustiva.
 - Rapidez, ya que la cantidad de datos transferidos con los nuevos servidores es relativamente pequeña, porque consisten principalmente en modificaciones y actualizaciones del modelo, la transferencia de datos no depende del tamaño de los archivos, lo que hace posible trabajar a través de cualquier red e incluso internet.
 - El servidor se convertirá en un componente dinámico en el proceso y permitirá garantizar la seguridad de los datos. Éste impedirá la inserción de datos corruptos. Si los datos del cliente resultan dañados en la red, el servidor los filtrará e impedirá que los datos dañados se integren en la base de datos del servidor.
 - Trabajo offline, los profesionales podrán crear nuevos elementos o modificar aquellos que pertenezcan a su área de trabajo incluso en modo de trabajo offline, cuando en aquellos momentos dados no exista conexión entre el *BIM Cloud*/ Servidor BIM y su software local. Una vez se establezca la conexión podrán volver a enviar y recibir los cambios.
 - Mayor productividad: Menos horas por trabajador, por tanto menos coste y más productividad.
 - Mayor calidad de la arquitectura: Con BIM se puede dedicar más tiempo al diseño, revisando y detectando errores o incongruencias de proyecto eficazmente.
 - Organización y seguimiento: Permite generar el calendario de proyecto y hacer un seguimiento durante la construcción.

La mayoría de estas tareas ya se realizaban antes del BIM, sin embargo, el valor agregado que posee esta herramienta es la facilidad y la rapidez con que estas funciones pueden ser demostradas y aplicadas de forma virtual antes de que comiencen los trabajos.

El BIM realmente aporta grandes ventajas tanto para profesionales independientes, pequeñas y medianas empresas como para grandes organizaciones. Uno de los mayores saltos que realizarán los profesionales *freelance* y las pequeñas y medianas empresas, será con la

flexibilidad que dispondrán cuando trabajen colaborativamente junto a otros profesionales independientes u otras organizaciones.

[15] [14] [49]

A continuación se muestran los beneficios según la etapa del proyecto:

Etapa del proyecto	Beneficios asociados
Pre-inversión (idea, estudios, evaluaciones, ingeniería conceptual y básica)	-Análisis de las distintas situaciones para evaluar la viabilidad, el diseño y el concepto. -Desempeño y calidad del producto final. Disminución de costes y ahorro en el tiempo de desarrollo de proyectos.
Inversión (ingeniería de detalles, adquisiciones, construcción, pruebas y puesta en marcha)	-Visualización del diseño en cualquier etapa del proceso. -Correcciones automáticas gracias a la parametrización. -Menor tiempo en elaboración de documentos y traspaso de la información. -Entrega 2D exactos y consistentes por obtención directa del modelo 3D. -Trabajo multidisciplinario colaborativo y simultáneo. -Mejor coordinación en la etapa de diseño. -Mejor comunicación entre diferentes disciplinas. -Estimación de costos. -Eficiencia energética y sustentabilidad (análisis) -Planificación de la construcción (BIM 4D) -Detección de interferencias. -Rápida reacción a problemas en terreno y diseño. -Modelo útil para fabricación de elementos.
Operación y cierre (utilización, producción y cierre)	-Mejor administración y operación de las instalaciones. -Control de sistemas. -Integración con la operación de la instalación y la gestión de sistemas. -Análisis de los procesos y trabajos de cierre

Tabla 1. Beneficios del uso de BIM en las distintas etapas de un proyecto de ingeniería y construcción. Fuente: [15]

En este trabajo se han considerado las pequeñas y medianas empresas, por tanto, se explicarán algunas ventajas de este tipo de empresas para adoptar el BIM.

- Las pequeñas empresas son más adaptables y pueden reaccionar mucho más rápidamente que las grandes.
- Su menor infraestructura exige una menor inversión económica.
- Suele haber menor oposición al cambio.
- Se produce un aumento de productividad debido a la información estructurada y estandarizada.
- Mayor facilidad para entender las intenciones del diseño.
- Surgen nuevas oportunidades de colaboración.
- Mejora de la imagen corporativa de la empresa.

[39]

3.4 Inconvenientes de la implementación de las herramientas BIM

Con BIM la mayoría son ventajas pero hay una tarifa a pagar por usarlo y es la de cambiar totalmente la metodología de trabajo, pues todo cambio crea una oposición que será mayor cuanto más revolucionario sea. Estos cambios rompen esquemas desde el mismo instante en que se desea implementar BIM. Por otro lado, se debe tener en cuenta que los beneficios que se han explicado antes son a mediano y largo plazo, ya que, la implementación y uso de BIM tiene sus costes y dificultades.

Aquí se citan algunas de las principales desventajas:

- Compartir información técnica en algunos casos se considera un riesgo para el que la suministra.
- Invertir tiempo y dinero en gestión tecnológica.
- Se debe aprender a diseñar manipulando objetos en vez de dibujarlos.
- La sustitución de hardware obsoleto que podría servir para dibujar pero no para trabajar con aplicaciones BIM.
- Definición de más parámetros antes de dibujar y la dificultad de personalizar el estilo, es decir, crear una biblioteca propia.
- Alto coste del software necesario.
- Se debe tener en cuenta también el coste de la formación. Pierde completamente el sentido hacer una inversión solo en software y no en aprender a utilizarlo. La cantidad de tiempo necesario para poder utilizar programas BIM es variable, dependiendo del área de la ingeniería que se esté desarrollando, los tipos de proyectos en los que se desempeñe la empresa, y por supuesto las capacidades del usuario.
- Se debe escoger bien el programa adecuado con el que se va a trabajar.
- Los integrantes del grupo de trabajo deben tener una comunicación más frecuente de lo que estaban acostumbrados, resolviendo dudas y consultas, analizando discrepancias, para así mejorar el trabajo en la etapa de diseño.
- Si no existe buena comunicación, surgen problemas que dificultan la labor de los proyectistas y dibujantes, pues si trabajan al mismo tiempo en el modelo se producirán conflictos entre sus respectivos cambios a menos que se cuente con un acceso controlado.
- Las actualizaciones o modificaciones requeridas aumentan progresivamente tanto en cantidad como en el tiempo que demora su gestión a medida que crece el proyecto, y estas operaciones bloquean el trabajo de los otros usuarios mientras el dibujante realiza

estos cambios. El resultado de una labor tan simple como esta se resume en una disminución en el rendimiento del equipo de trabajo, y por supuesto la complejidad de “decidir” quién puede acceder a la maqueta para trabajar.

- La disponibilidad al cambio. Si no existe esta disponibilidad por parte de las personas que manejan estas plataformas de trabajo BIM, el cambio simplemente no tiene éxito. Esto no se refiere a que no se utilicen los programas correctamente, pero se pierde la base de lo que es trabajar con BIM, la comunicación y trabajo colaborativo durante la elaboración del modelo.
- Se reducen los costes de obra, sin embargo, este ahorro que repercute en la propiedad no repercute hoy en día en los agentes que participan en el diseño y construcción.

Implementar el BIM impone desafíos nuevos para el grupo de trabajo, por tanto, uno de los mayores esfuerzos se basa en respetar el orden y asignaciones de responsabilidades en el diseño. Al estar obligados a realizar un trabajo colaborativo, hay roles asignados que deben respetarse para mantener orden en la elaboración de la maqueta. Este orden se encuentra referido a las personas que manejan la información, cómo se comparte la información, quién lidera el manejo del modelo, cómo se trabaja en conjunto, etc.

[15] [14] [49]

Más específicamente, los inconvenientes de las pequeñas y medianas empresas con el BIM son:

- Mayor dependencia de las herramientas comerciales de software siendo más difícil que puedan desarrollar sus propios programas.
- Las necesidades de formación son más complejas y es más difícil disponer del tiempo para el aprendizaje sin que se vea perjudicada la productividad de la empresa.
- Sobre todo al principio, será más complicado encontrar los colaboradores necesarios para obtener el rendimiento óptimo de la inversión.
- Todo cambio genera un temor y este será un cambio profundo. Miedo a equivocarse, a que la inversión sea ruinosa, al sobreesfuerzo...
- La capacidad de inversión de las pequeñas empresas es más reducida, y por ello es más difícil prever las inversiones.

[39]

3.5 DAFO sobre las pequeñas y medianas empresas

Con el fin de resumir de manera visual estos últimos apartados, se adjunta a continuación la matriz DAFO para pequeñas y medianas empresas realizada por Ángel Cabellud en su estudio del BIM en la PYME.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> -Mayor dependencia de las herramientas de software ya que no son capaces de desarrollar sus propias apps. -La metodología BIM debe ser adoptada por todos sus miembros y están obligados a aprender sobre el BIM. -Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más coste), y una dificultad adicional para solventar problemas de modelado, que al principio puede bajar la productividad. -Seguramente necesidad de contratación de técnicos que entiendan la nueva metodología o formar a los que estén en plantilla, con el coste que supone. -Falta de colaboradores (cálculo de estructuras, instalaciones, etc.) que trabajen en BIM, mayor dificultad en su estructura de trabajo tradicional. -Para la pequeña empresa constructora, hoy en día no reciben los modelos en BIM, lo que supone un coste añadido a sus procesos de trabajo si quieren empezar a trabajar en BIM ahora. -Cambio de forma de pensar sobre el pago de Software. Necesidad de inversión económica en hardware y software. -Crisis económica y de orientación profunda del Sector. -Falta de ayudas oficiales. -Temor a la complejidad del BIM, sentirse no preparado para ello, temor a que arruine el modelo de negocio. 	<ul style="list-style-type: none"> -Competencia elevada -Sometimiento a las voluntades de las casas de software -La mayoría de pequeños clientes no están dispuestos a pagar un sobrecoste por el uso del BIM -Las grandes empresas de software se centran más en grandes proyectos de forma que el potencial del BIM aún es desconocido para los propietarios y promotores residenciales -Existe la creencia de que una menor escala equivale a menores problemas, y que es más rentable en grandes proyectos -Desconocimiento de la importancia de una implementación, no es suficiente con aprender una "herramienta" -Capacidad de inversión de la empresa pequeña, muy dependiente de los proyectos actuales y por tanto con mayor dificultad para prever inversiones en el tiempo -Mayor facilidad de adaptación al BIM para grandes empresas y multinacionales
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> -Las pequeñas empresas tienen menores costes de implantación al necesitar menos equipos, licencias o formación que una empresa grande. -Existe una menor oposición al cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nuevas oportunidades de trabajo colaborando en grandes proyectos. -Pronto todo tipo de clientes van a exigir el BIM

<ul style="list-style-type: none"> -La utilización de menos programas exige una menor necesidad de interoperabilidad. -Mayor facilidad para colaborar entre los miembros de la empresa. -Mayor facilidad para adoptar el BIM en pequeños proyectos con menores requerimientos. -Aumento de productividad gracias a una información estructurada y estandarizada. -Mejor comprensión de las intenciones del diseño. -Mayor precisión y mejores planificaciones de proyecto. -Las pequeñas empresas pueden reaccionar más rápidamente y son relativamente más sensibles a cuestiones como el cambio climático o arquitecturas "verdes", descubriendo en el BIM la herramienta necesaria. -Si el constructor utiliza BIM, mayor facilidad para entender cómo se construye. -Mayor conocimiento generalizado de todos los procesos constructivos desde diseño a fin de obra -La documentación final de obra, será mucho más ajustada a la realidad y por tanto el documento posibilitará el mejor mantenimiento de los edificios. -Responsabilidades más claras. -Velocidad. Eficacia. Hipercompetitividad. -Control del proyecto a lo largo del ciclo de la vida -Toda la documentación es generada de forma automática y vinculada a un único modelo de datos (mediciones, planos y cálculos), lo que implica ahorro de costes y tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nuevas oportunidades de trabajo a través de sistemas Teamwork. -Exigencia de implicación de la dirección. -La Fabricación Digital necesita técnicos muy cualificados en cadenas de producción. -Fases previas con necesidad de técnicos cualificados. -Potenciación de equipos técnicos multidisciplinares. -La implantación de la metodología supondrá una proyección de la empresa y su crecimiento -Implantar una nueva gestión en la empresa, potenciando la programación y control tanto de ejecución como de costes. -Costes salariales más bajos en España
--	---

Tabla 2.DAFO PYMES. Fuente: [39]

4. Modelo para el estudio técnico-económico

En este apartado se calculará de manera aproximada los costes económicos y estructurales para implementar el BIM en pequeñas y medianas empresas. Los cálculos y la estructura de este apartado se basan en un trabajo realizado por Fernando Sieyro Portela [50].

Para poder realizar una justificación técnica y económica sobre la implantación de la metodología BIM en pequeñas y medianas empresas de proyectos industriales se desarrollará un modelo en el que se tendrán en cuenta aspectos como el tamaño de la empresa (presupuesto destinado al personal), el grado de tecnificación de la empresa y la inversión inicial.

Se estudiará la rentabilidad en diferentes situaciones, determinadas por el tipo de oficina en la que se quiera implantar. Para ello se ha elaborado un Excel en el que a partir de un sistema inputs/outputs se podrán valorar los costes y los beneficios.

Para analizar los resultados finales se observará el TIR, el VAN y el payback. Estos valores definirán los beneficios de la empresa estudiada. Se analizará la variación de estos valores respecto a los inputs introducidos y se reflexionará acerca de la rentabilidad de la implantación del BIM según cada caso.

4.1 Datos de entrada (inputs):

En este apartado se describirán las diferentes variables que condicionarán los resultados finales del estudio de la implantación del BIM. Estas variables representarán el grado de sofisticación técnica y el volumen económico de la empresa a la que se desee aplicar el modelo. Se evaluará la rentabilidad económica de implementar el BIM en una empresa pequeña y una mediana.

Se debe tener en cuenta que los datos son solo ejemplos de casos estudiados, buscando recoger datos que puedan aplicarse a múltiples especies de oficinas.

- **Coste de personal:** 200.000€ (oficinas de pocos trabajadores), 1.000.000€ (oficinas de un tamaño mediano) y 4.000.000€ (oficinas de tamaño mediano). Estos valores han sido fijados atendiendo a los presupuestos razonables que se manejan en las distintas empresas del sector.

Este parámetro está en función de los gastos que suponen los trabajadores para la oficina de manera anual. [57]

- **Grado de optimización:** es el grado de tecnificación de la oficina donde se implementará BIM. Se estudiará cada caso con tres tipos de grado: 10%, 6% y 2%.

- **Coeficiente de eficiencia:** este coeficiente representa el nivel técnico de la empresa. Cuanto mayor sea el grado de optimización, menor será el coeficiente de eficiencia y por tanto, la empresa tendrá un nivel de tecnificación más grande. Por tanto, si el grado de tecnificación es alto, la implementación del BIM tendrá menos efecto en esa empresa y como consecuencia, la inversión inicial tardará más en recuperarse.
 - Tipo 1 (coef. eficiencia: 0,1): Empresa con tecnificación escasa, sus procesos son tradicionales y básicos.
 - Tipo 2 (coef. eficiencia: 0,06): Empresa con tecnificación media, tiene algunos métodos mejorables y personal con necesidad de formación.
 - Tipo 3 (coef. eficiencia: 0,02): Empresa con tecnificación buena, personal preparado y procesos automatizados.
- **Tasa de descuento:** es el coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro. Es muy útil para conocer cuánto vale el dinero del futuro en la actualidad. Cuanto mayor sea esta tasa, menor será el valor actual del capital. Se obtendrá su valor según el tipo de financiación de la inversión. Si son proyectos financiados solo con fondos propios como mínimo se exigirá recuperar el valor que obtendríamos al dedicar nuestros fondos a otra inversión. Si, por el contrario, son financiados con fondos ajenos, la tasa de descuento será el coste de la deuda, es decir, el tipo de interés más las tasas bancarias. Por último, si es una mezcla de ambos, se calculará el promedio ponderado entre los fondos propios y ajenos. Este concepto se denomina coste de capital.

El riesgo es otro factor que se debe tener en cuenta a la hora de calcular la tasa de descuento, se deberá exigir más rentabilidad cuanto mayor sea el riesgo, por tanto, la tasa de descuento aumentará.

$$\text{Tasa de descuento} = \text{Rentabilidad mínima} + \text{Prima de riesgo}$$

En este caso se fija una tasa de descuento a alcanzar del 4%, este valor se ha extraído de un estudio realizado por Fernando Sieyro Portela que extrajo información del Banco Mundial donde se recomienda dicho valor en este tipo de proyectos.

- **IPC (Índice de precios de consumo):** es un indicador que varía con el tiempo e indica la media estadística de la evolución de los precios de los bienes y servicios que se consumen en España. Estos costes aumentarán a lo largo de los años ya que la implantación del BIM es una inversión a largo plazo.

El valor medio del IPC según el INE por motivos del COVID-19 no es como el de los últimos años así que se cogerá un valor promedio del 1'6% y como se ha dicho antes, se supone que aumentará, por tanto en este modelo se aproximará un valor del 1'8%.

- **Coste de inversión:** es la cantidad de capital invertida para implementar el BIM, es un valor orientativo que dependerá del proveedor y del grado de complejidad de la empresa.
- **Coste de soporte:** consiste en la incorporación de un nuevo software con su coste de mantenimiento, de soporte técnico y de formación necesaria. Se supone un coste equivalente al 10% de la inversión, por tanto en este caso, 10.000 €/año.

4.2 Outputs

- **VAN (Valor Actual Neto):** es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. [56]

$VAN < 0$: la inversión generará pérdidas.

$VAN = 0$: la inversión no genera ni pérdidas ni beneficio.

$VAN > 0$: la inversión genera beneficios.

- **TIR (Tasa Interna de Retorno):** nos permite saber si es viable invertir en un determinado negocio, considerando otras opciones de inversión de menor riesgo. La TIR es un porcentaje que mide la viabilidad de un proyecto o empresa, determinando la rentabilidad de los cobros y pagos actualizados generados por una inversión.

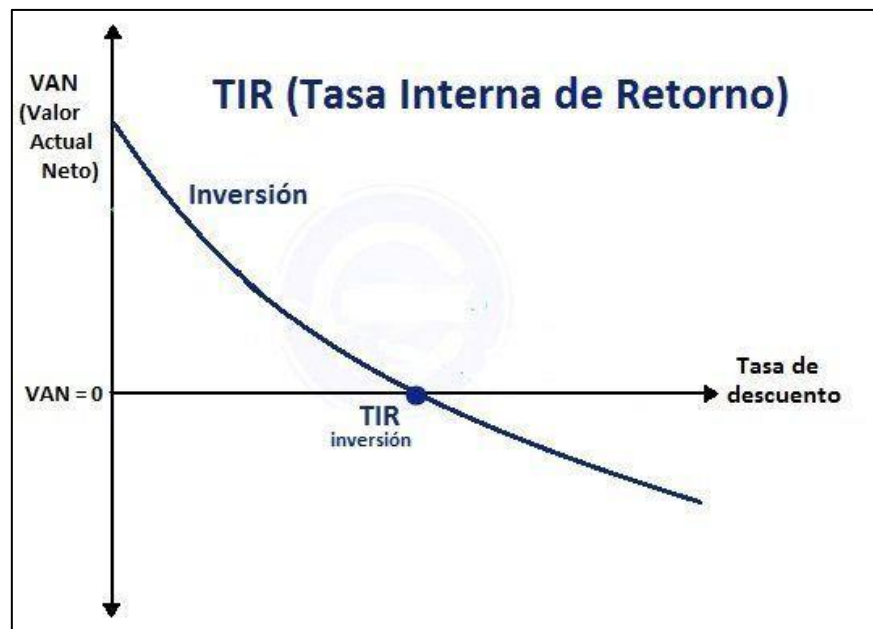


Ilustración 18. VAN en función de la Tasa de descuento. Fuente [56]

- **Payback (plazo de recuperación):** se utiliza para calcular el periodo de retorno de inversión en un proyecto. Es decir, el payback es el tiempo de retorno desde la inversión inicial hasta el momento que los rendimientos acumulados se vuelven iguales al valor de esa inversión.

Todo proyecto rentable, tiene la necesidad de recuperar la inversión, el tiempo invertido en esta recuperación es muy importante, de este dependerá el nivel de rentabilidad del mismo y el riesgo que involucra llevarlo a cabo. Mientras más corto resulte el periodo de recuperación, menor riesgo tendrá el proyecto.

4.3 Tabla de eficiencia

A continuación se mostrará la evolución económica de la inversión a lo largo de 20 años. Los cálculos se han hecho en Excel por lo que se pueden modificar fácilmente dependiendo del tamaño de la empresa, el coste del personal el grado de optimización, etc.

Con este modelo cualquier oficina podría hacer un análisis propio partiendo de sus características y obtener unos resultados precisos de una manera rápida y sencilla puesto que, como se ha mencionado antes, los datos acerca de la rentabilidad de la inversión se obtienen automáticamente.

En este caso, se han hecho los cálculos para una empresa mediana, por tanto, como se ha explicado anteriormente, un coste del personal de 1.000.000€. El grado de optimización era del tipo 2, es decir 0,06 de coeficiente de eficiencia y la tasa de descuento un 4%. Se aproximará un valor del coste de inversión de 100.000€.

IPC	1,8%
Coef. Eficiencia	0,06
Inversión	100.000
Soporte técnico	10.000
Tasa descuento	0,04
Coste personal	1.000.000
Grado de optimización	2

Tabla 3. Inputs y outputs

Años	Coste personal [€]	Coste personal con BIM [€]	Ahorro [€]	VAN [€]	VAN acumulado [€]	TIR [%]
0	1000000	1100000	-100000	-100000	-100000	
1	1018000	966920	51080	49115,38	-50884,62	-51%
2	1036324	984144,56	52179,44	48242,83	-2641,79	-2%
3	1054977,83	1001679,16	53298,67	47382,32	44740,53	21%
4	1073967,43	1019529,39	54438,05	46533,87	91274,40	33%
5	1093298,85	1037700,92	55597,93	45697,45	136971,85	39%
6	1112978,23	1056199,53	56778,69	44873,03	181844,88	42%
7	1133011,83	1075031,12	57980,71	44060,57	225905,45	44%
8	1153406,05	1094201,68	59204,36	43260,05	269165,50	45%
9	1174167,36	1113717,32	60450,04	42471,40	311636,90	46%
10	1195302,37	1133584,23	61718,14	41694,57	353331,46	46%
11	1216817,81	1153808,74	63009,07	40929,49	394260,95	47%
12	1238720,53	1174397,30	64323,23	40176,10	434437,05	47%
13	1261017,50	1195356,45	65661,05	39434,33	473871,38	47%
14	1283715,82	1216692,87	67022,95	38704,08	512575,46	47%
15	1306822,70	1238413,34	68409,36	37985,29	550560,75	47%
16	1330345,51	1260524,78	69820,73	37277,86	587838,61	47%
17	1354291,73	1283034,23	71257,50	36581,70	624420,30	47%
18	1378668,98	1305948,84	72720,14	35896,71	660317,01	47%
19	1403485,02	1329275,92	74209,10	35222,79	695539,80	47%
20	1428747,75	1353022,89	75724,87	34559,84	730099,64	47%

Tabla 4. Resultado económico del modelo estudiado.

Coste personal (año) = coste personal (año 0) * (1+IPC)^{año}

Coste personal con BIM (año 0) = coste personal (año 0) + coste inversión

Coste personal con BIM (año) = coste personal (año) * (1- Coef eficiencia)
+ coste soporte

Ahorro = Coste personal – coste personal con BIM

VAN ahorro (año) = Ahorro (año) / (1+Tasa de descuento)^{año}

VAN ahorro Acumulado (año) = Σ VAN (año)

TIR (año) = fórmula Excel TIR(VAN acumulado año 0 : año)

Payback = $a + \frac{I_0 - b}{F_t}$

a: periodo en el que el VAN acumulado pasa de negativo a positivo.

b: último valor negativo del VAN acumulado.

Ft: valor del VAN en el año a+1.

I₀: inversión inicial. Como ya se ha tenido en cuenta en el cálculo del VAN,
en la fórmula se pondrá valor 0.

A 5 años	
VAN	136971,85
TIR	39%
A 10 años	
VAN	353331,46
TIR	46%
A 15 años	
VAN	550560,75
TIR	47%
A 20 años	
VAN	730099,64
TIR	47%

Payback	2,05575476
---------	------------

Tabla 5. Resultados
indicadores de rentabilidad

5. Estudio de la rentabilidad económica

Se irán modificando los inputs para calcular la rentabilidad de la implantación del BIM en empresas diferentes a la explicada antes.

Se variará el coste de personal, el coste de inversión, el coste de soporte técnico y el grado de optimización. También, se analizará cada caso para los diferentes grados de optimización descritos anteriormente. Además, al ser la mayoría de las funciones de carácter lineal, los casos que no aparezcan en la tabla podrán ser calculados mediante una interpolación.

5.1 Resultados analíticos

En este apartado se observan los resultados obtenidos utilizando el modelo elaborado en Excel. Para cada caso se muestran los indicadores de rentabilidad para así conocer cómo será la implementación del BIM en la metodología de trabajo de la empresa.

Coste de inversión	100.000
--------------------	---------

Coste de personal	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
4.000.000	0,1	1.732.082,3	380%	3.381.827,2	380%	4.867.113,6	380%	6.204.116,1	380%	0,26183283
	0,06	981.442,1	223%	1.956.652,7	223%	2.835.794,6	223%	3.628.108,3	223%	0,44383749
	0,02	230.801,9	61%	531.478,3	66%	804.475,6	67%	1.052.100,6	67%	0,46446708

Coste de personal	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
1.000.000	0,1	324.631,9	82%	709.625,1	86%	1.058.390,5	86%	1.374.101,6	86%	1,13550865
	0,06	136.971,8	39%	353.331,5	46%	550.560,6	47%	730.099,6	47%	2,05575476
	0,02	-50.688,2	-20%	-2.962,2	-1%	42.731,0	5%	86.097,7	7%	10,3180792

Coste de personal	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
200.000	0,1	-50.688,2	-20%	-2.962,2	-1%	42.731,0	5%	86.097,7	7%	10,3180792
	0,06	-88.220,2	-45%	-74.220,9	-19%	-58.834,9	-9%	-42.702,7	-5%	-
	0,02	-125.752,2	-	-145.479,6	-	-160.400,9	-	-171.503,1	-	-

Tabla 6. Resultados analíticos (1)

Coste de inversión	50.000
--------------------	--------

Coste de personal 4.000.000	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
	0,1	1.804.341,4	771%	3.472.381,6	771%	4.972.705,6	771%	6.322.067,7	771%	0,12928891
	0,06	1.053.701,2	458%	2.047.207,2	458%	2.941.386,6	458%	3.746.059,9	458%	0,2172823
	0,02	303.060,9	143%	622.032,7	145%	910.067,6	145%	1.170.052,2	145%	0,68027211

Coste de personal 1.000.000	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
	0,1	396.891,0	183%	800.179,6	184%	1.163.982,4	184%	1.492.053,2	184%	0,53719008
	0,06	209.230,9	103%	443.885,9	106%	656.152,7	106%	848.051,3	106%	0,92724679
	0,02	21.570,9	13%	87.592,3	25%	148.322,9	27%	204.049,3	28%	3,452792

Coste de personal 200.000	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
	0,1	21.570,9	13%	87.592,3	25%	148.322,9	27%	204.049,3	28%	3,452792
	0,06	-15.961,1	-12%	16.333,6	6%	46.756,9	10%	75.248,9	12%	7,43732207
	0,02	-53.493,1	-	-54.925,1	-	-54.808,9	-	-53.551,4	-	-

Tabla 8. Resultados analíticos (2)

Coste de inversión	10.000
--------------------	--------

Coste de personal 4.000.000	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
	0,1	1.862.148,7	3904%	3.544.825,2	3904%	5.057.179,1	3904%	6.416.429,0	3904%	0,02560315
	0,06	1.111.508,5	2338%	2.119.650,8	2338%	3.025.860,1	2338%	3.840.421,3	2338%	0,04274207
	0,02	360.868,3	771%	694.476,3	771%	994.541,1	771%	1.264.413,5	771%	0,12928891

Coste de personal 1.000.000	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
	0,1	454.698,3	967%	872.623,1	967%	1.248.455,9	967%	1.586.414,5	967%	0,1031746
	0,06	267.038,3	576%	516.329,5	576%	740.626,2	576%	942.412,6	576%	0,17310253
	0,02	79.378,2	183%	160.035,9	184%	232.796,5	184%	298.410,6	184%	0,53719008

Coste de personal 200.000	Tasa descuento	A 5 años		A 10 años		A 15 años		A 20 años		Payback
		VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	VAN [€]	TIR	
	0,1	79.378,2	183%	160.035,9	184%	232.796,4	184%	298.410,6	184%	0,53719008
	0,06	41.846,2	103%	88.777,2	106%	131.230,5	106%	169.610,3	106%	0,92724679
	0,02	4.314,2	13%	17.518,5	25%	29.664,6	27%	40.809,9	28%	0,452792

Tabla 7. Resultados analíticos (3)

5.2 Resumen económico

Después del estudio económico, vemos que implementar el BIM dependerá principalmente del tamaño de la empresa ya que cuanto más grande es una organización o un proyecto, más costes estructurales tiene, lo cual incrementa los costes de implantación.

El modelo técnico-económico que se ha visto anteriormente, por mucho que tenga en cuenta diferentes situaciones de pequeñas y medianas empresas, no es una metodología de cálculo relevante y aceptada para medir de manera correcta y fiable los beneficios del BIM en proyectos, ya que, la gran cantidad y variedad de agentes que interactúan con el BIM deriva en distintas interpretaciones de sus beneficios.

Los principales desafíos y dificultades en la evaluación de beneficios en el negocio de sistemas de información pueden ser categorizados en seis áreas: algunos de los beneficios pueden ser intangibles, los cambios en la organización pueden ocurrir como resultado de la introducción de un nuevo sistema, los beneficios del negocio evolucionan durante el ciclo de vida del sistema, diversos agentes involucrados evaluarán de manera subjetiva el sistema y podrán tener conflictos en sus respectivas opiniones, los usuarios pueden sentirse intimidados o coaccionados por el nuevo sistema y cómo puede afectar de manera negativa en sus trabajos y dificultades de uso, tales como uso impropio, sistemas interconectados e incapacidad de dividir sistemas relacionados y beneficios. [41]

Igualmente, gracias al estudio de este modelo, vemos que la realidad es que el BIM no es algo que se pueda comprar en una caja. Es cierto que puede ser necesario hacer una inversión en tecnología pero BIM es mucho más que la tecnología es una nueva forma de trabajar. Es mucho más importante centrarse en las personas (sensibilización BIM, formación) y en los procesos (gestión y uso de la información).

El coste de la implementación de BIM es proporcional a los resultados que se quieran obtener. Si es un cambio de la organización, el coste principal será de tiempo del personal, sensibilización, formación, etc. Eso no quita que, en la mayoría de los casos, hará falta utilizar algunas nuevas herramientas informáticas, sin embargo una vez más, el coste de esto dependerá de lo que se necesite hacer con el proyecto.

Los sistemas BIM son utilizados por muchas PYMES en España. La aceleración del desarrollo de estándares de intercambio de información y protocolos ayudan a la adopción de formas efectivas de trabajo con la metodología BIM. Es cierto que la adopción de BIM por toda la cadena

de suministro de contratación requiere más desarrollo de la capacidad de todos ellos. Sin embargo, la puesta en marcha de los requisitos BIM tiene lugar de manera que las competencias y capacidades necesarias puedan ser desarrolladas por todos los agentes implicados.

[37]

5.3 Implicaciones ambientales

El ritmo actual de la actividad humana en general y, en este caso, del sector de la construcción, no puede sostenerse indefinidamente y es urgente un cambio que permita reducir los impactos medioambientales. En el caso de los proyectos de construcción la mejora en los impactos de los proyectos pasa por integrar criterios de sostenibilidad en todas las fases: en la planificación y primeras etapas de proyecto ya que es cuando las decisiones tienen más peso, y a lo largo de toda la vida útil hasta la fase de fin de vida, incluyendo esta última. Para lograr esto, es necesaria la colaboración interdisciplinar de los profesionales involucrados en el proyecto, donde se observa que hay una falta de formación en cuanto a la integración de la sostenibilidad. La formación de profesionales del sector en este sentido y la creación de un escenario en el que haciendo construcción sostenible todos ganen, es clave para evitar que se interpongan otros intereses en la meta común de lograr una construcción sostenible.

A continuación se muestran las conclusiones extraídas de un estudio realizado por Esther Herrería Palazuelos [60], en el que se compararon propuestas para un mismo edificio observando o no criterios de impacto ambiental:

- Un método de trabajo iterativo es más adecuado para la integración de criterios de sostenibilidad ambiental en un proyecto donde el método de trabajo tradicional está basado en certificaciones del edificio terminado.
- BIM presenta un gran potencial para incluir criterios de sostenibilidad en la elaboración de proyectos, gracias a la gran cantidad de información que maneja. Pero hoy en día sus posibilidades no se están utilizando al máximo.
- La envolvente de los edificios es la parte que más impactos ambientales conlleva y la que mayor potencial de reducción presenta. El consumo de energía en la envolvente representa casi el 70% del total y en el resto de los impactos su valor se encuentra entre el 50% y el 90% del total.
- La mayoría de los materiales de construcción tienen una gran dependencia de fuentes de energía no renovables durante todo su ciclo de vida.
- Los sistemas cuya vida útil es más corta que la prevista para el edificio presentan mayores impactos que aquellos cuya vida útil es más larga, pues deben ser sustituidos, generando impactos de fin de vida, y reemplazados por sistemas nuevos, produciendo impactos de nuevo en todas las fases.

6. Planificación

A continuación se muestra la planificación por semanas del proyecto. Empieza en la semana del 17/02/2020 y acaba la del 13/02/2020. Se realizarán un total aproximado de 300h.

Esta planificación se hizo la primera semana pero con la situación actual del COVID19 ha habido variaciones principalmente en el número de horas de trabajo por semana, igualmente, se ha seguido el mismo orden, solo cambiaba el tiempo de dedicación por cada actividad.

Semana	Tiempo dedicado (horas)		Actividad	Tasa (€/h)	Coste total (€)
1	5	Charla Informativa TFG	Planificación	20	100
2	5		Buscar información	20	100
3	5		Buscar información	20	100
4	20		Project Charter	20	400
5	20	Entrega Project Charter	Project Charter	20	400
6	20		(BIM) Antecedentes	20	400
7	20		BIM	20	400
8	10		BIM	20	200
9	20	Seguimiento 1	BIM	20	400
10	20		Desarrollo	20	400
11	20		Desarrollo	20	400
12	10	Seguimiento 2	Desarrollo	20	200
13	15		Presupuesto	20	300
14	10		Resultados	20	200
15	15	Seguimiento 3	Resultados	20	300
16	10		Resultados	20	200
17	20		Bibliografía y Normativa	20	400
18	15		Redacción	20	300
19	10		Redacción	20	200
20	20	Entrega Final TFG	Redacción	20	400
21	5		Presentación	20	100
22	5	Presentación	Presentación	20	100

Tabla 9. Planificación tareas

Descripción de las tareas que se desarrollarán:

- Introducción:
 - Planificación: organizar todas las tareas con un orden lógico.
 - Buscar información: se hará una búsqueda general al principio del proyecto, eso no quita que durante todo el proyecto se busque información.

- Project Charter: plantear el objeto, el alcance, las especificaciones básicas y la justificación.
- BIM:
 - Antecedentes y estado del arte.
 - BIM en el mundo.
 - Cambios del BIM respecto al CAD.
 - Estrategias de implantación.
 - Metodología y herramientas BIM.
 - Niveles del BIM
- Desarrollo: desarrollar el uso de las herramientas BIM en proyectos de ingeniería.
- Presupuesto: estudiar el coste técnico de redacción del proyecto y el coste de ejecución.
- Resultados: resumen económico, implicaciones ambientales, conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía: poner la bibliografía ordenada y con el formato que toca.
- Normativa: buscar una normativa del BIM.
- Redacción: acabar de redactar todo bien y revisar que todo tenga coherencia.
- Presentación: preparar la presentación del proyecto.

A continuación se muestra el diagrama de Gantt, se fue completando hasta la entrega del Project Charter.

Diagrama de Gantt

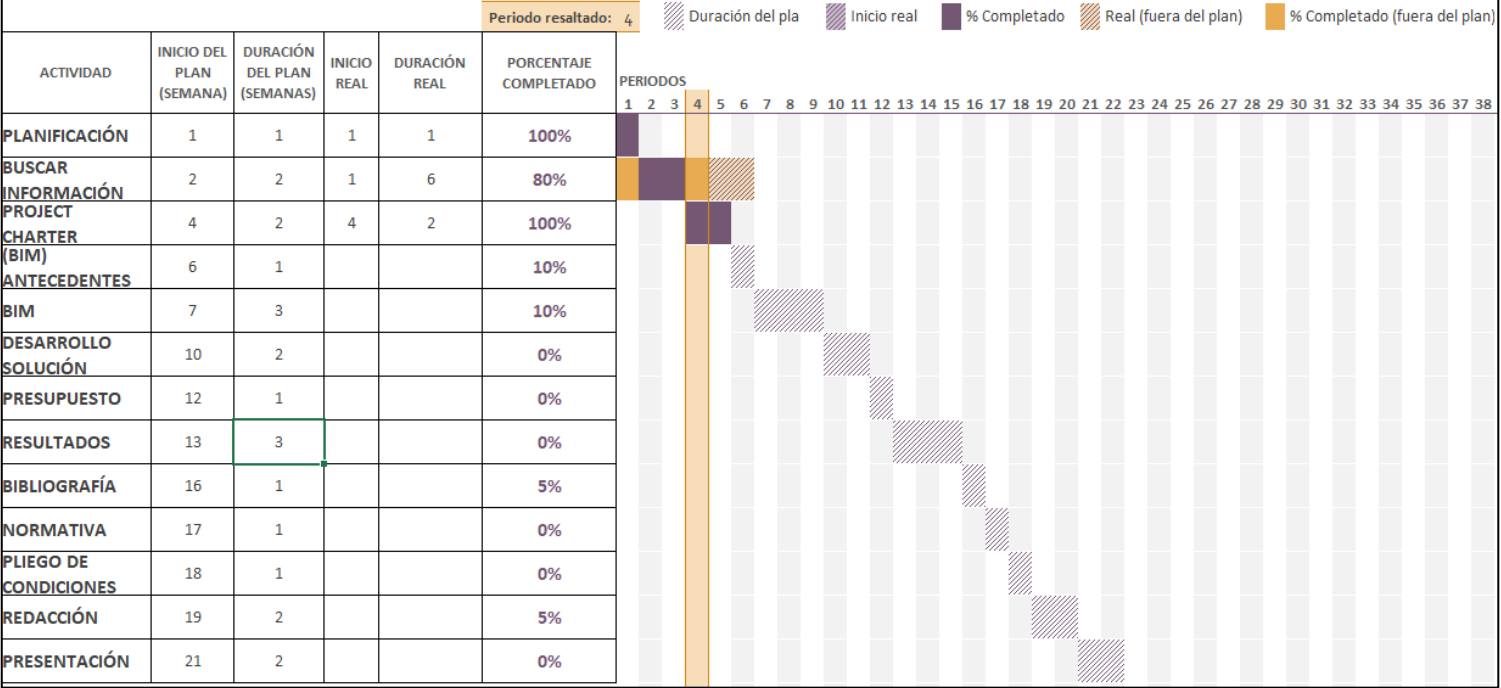


Ilustración 19. Diagrama de Gantt

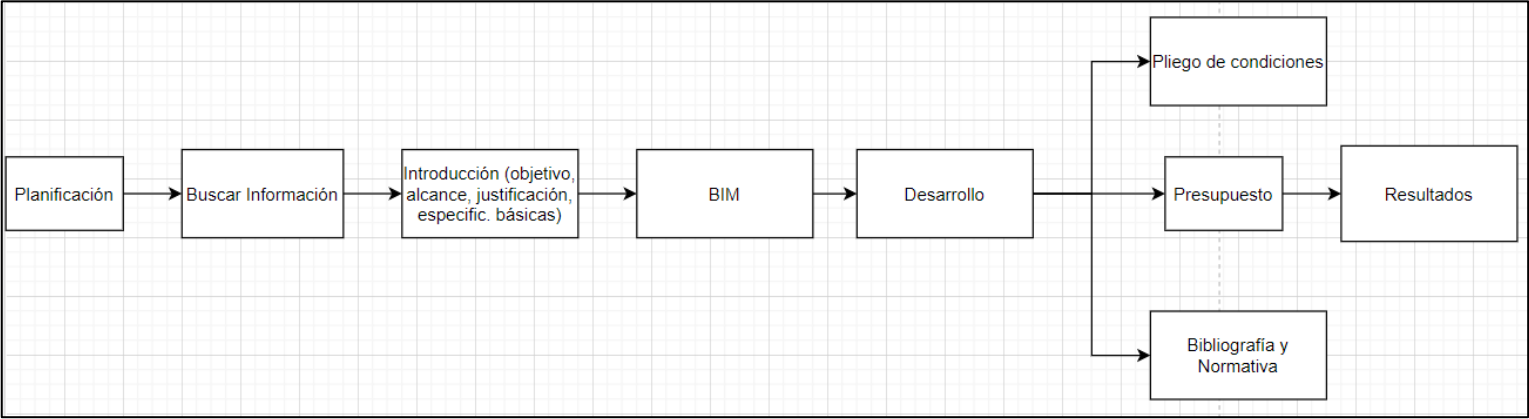


Ilustración 20. Dependencia tareas

7. Conclusiones

En este trabajo se realiza un estudio sobre la implantación de las herramientas BIM en pequeñas y medianas empresas de ingeniería.

Al principio del trabajo se analiza el BIM, principalmente se describe el concepto, su origen y las ventajas que aporta esta metodología. Gracias a esta contextualización previa vemos que no podemos olvidar que el BIM es una metodología, no un fin en sí mismo. BIM no es un modelo, es un proceso global de gestión eficiente de información.

Una vez situados se explican los procedimientos necesarios para implantar, dentro de pequeñas o medianas empresas de ingeniería, las herramientas BIM. Nos damos cuenta de que implantar las herramientas BIM en una ingeniería es un camino difícil y complicado, pero en la mayoría de los casos satisfactorio ya que las posibilidades son casi ilimitadas.

Hay que tener muy claro que no existe un manual de oro que nos diga que hacer o que decisiones tomar. Existen muchos libros, manuales, guías de implantación, asesores, consultores BIM, etc., que pueden ayudar a tener una visión general y global del proceso de implantación, pero nadie mejor que el propio director de un estudio de ingeniería, conoce la propia realidad de su organización.

Después de estudiar la mejor manera de implantar el BIM, se ha hecho un estudio para analizar los costes económicos en el que se describe un modelo que podría utilizarse en cualquier situación, actualizando los datos de entrada según el tipo de empresa y así estudiar su rentabilidad económica a la hora de implementar el BIM. El problema es que no existe un estudio económico claro, y por ello las empresas, sobre todo las más pequeñas, son un poco reacias a dar el salto.

Con este trabajo vemos que las pequeñas y medianas empresas deberán tener objetivos diferentes a las grandes. Lo más importante es que diseñen un proceso de implementación BIM a su medida, y sobre todo, con una inversión inicial poco elevada, ya que es una inversión a medio plazo. La implementación del BIM es muy difícil si no se realiza previamente un estudio y diagnóstico en cada empresa ya que es fundamental conocer lo antes posible la capacidad de la propia empresa y evaluar las necesidades futuras, todo esto facilitará las inversiones y transformaciones necesarias.

No se puede prever cuál es la mejor solución, depende de muchas cosas. Algunas empresas deberán optar por cambiar su modelo de negocio, otras en cambio deberán establecer o reforzar colaboraciones entre ellas, pero lo que es seguro es que difícilmente podrá ser

competitiva una empresa que no evolucione y transforme en algún modo su actual forma de trabajo.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el BIM tiene limitaciones ya que deja grandes cuestiones por definir, que deben repartirse entre los diferentes agentes que participan en un proyecto. Un ejemplo donde se ve la falta de experiencia del uso del BIM es el hecho de que algunos clientes exigen el mayor nivel de BIM a las ingenierías al mismo precio que un proyecto desarrollado con la metodología actual.

Otra limitación importante es que el uso del BIM exige un gran número de herramientas y softwares, así como saber cuáles de ellas emplear, también porque supone una inversión importante ya que, aparte de adquirir los softwares, se deben actualizar los equipos informáticos para que sean lo suficientemente potentes para soportar toda la información.

Por último, cabe resaltar que en aspectos generales, el uso de la metodología y herramientas BIM en la ejecución de los proyectos aporta resultados positivos, aunque BIM no es la respuesta a todos los problemas en un proyecto de construcción, esta herramienta facilita una toma de decisiones con plena consistencia, lo que conlleva mejores resultados de negocio, mayor claridad, mejoras en la comunicación, menos riesgos y en definitiva, más eficiencia.

8. Recomendaciones

- Elaborar una Guía de implantación en empresas, teniendo en cuenta los resultados del estudio. Convendría determinar la elaboración de dos Guías; una para PYMES y otra para despachos y sociedades profesionales. [39]
- Hacer una encuesta entre los colectivos a los que se refiere el trabajo, para ver el grado de implementación existente, el interés y la voluntad de implantar la metodología. [39]
- Contactar con empresas y despachos que hayan iniciado la implantación de BIM con el fin de conocer la problemática que les ha representado. En este sentido, resulta recomendable seleccionar Proyectos Piloto en Empresas y Despachos. [39]
- Hacer un modelo económico más elaborado, con más variables que afectan en la implementación del BIM. Así poder calcular mejor los costes y el retorno de la inversión.
- Hacer el estudio extensivo de un caso y añadirlo como ejemplo.

9. Bibliografía

- [1] Autodesk [en línea] Febrero de 2020.
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit-products/getting-started/caas/screencast/Main/Details/a528433c-1922-48e7-861c-ef15c2e400f0.html>
- [2] Medium [en línea] Febrero de 2020. www.medium.com
- [3] Seystic [en línea] Febrero de 2020. <https://seystic.com/bim-la-historia-del-building-information-modelling/>
- [4] Martínez, Diego. [en línea] Febrero de 2020. <https://prezi.com/negia11dlk0q/una-pequena-historia-del-bim/>
- [5] Itec [en línea] Febrero de 2020. <https://itec.es/servicios/bim/implantacion-bim-en-espana/>
- [6] IdealIngeniería [en línea] Febrero de 2020. <https://ideainingeneria.es/industria-4-0/que-es-la-tecnologia-bim/>
- [7] Ingenieros industriales [en línea] Febrero de 2020.
<https://ingenierosindustriales.es/servicios-web/metodologia-bim/>
- [8] Ideainingeneria [en línea] Febrero de 2020.
<https://ideainingeneria.es/servicios/ingenieria-de-proyectos-industriales/modelado-bim/>
- [9] Scielo [en línea] Febrero de 2020.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071850732019000200169&script=sci_arttext
- [10] Advenser[en línea] Febrero de 2020. <https://www.advenser.ae/>
- [11] Cámara, Carlos. [en línea] Marzo de 2020.
<https://prezi.com/qqt27qgvtscc/introduccion-al-bim/>
- [12] Unex [en línea] Febrero de 2020. <https://www.unex.es/conoce-la-uex/centros/cum/informacion-academica/tf-estudios/tfms/tfms/TFM%20Paloma%20Prieto.pdf>
- [13] EsBim [en línea] Febrero de 2020. <http://www.esbim.es/>
- [14] Researchgate[en línea] Marzo de 2020.
https://www.researchgate.net/publication/317690114_ANALISIS_DE_LAS_HERRAMIENTAS_BIM_COMO ESTRATEGIA PARA MINIMIZAR RIESGOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCION EN COLOMBIA
- [15] Trejo Carvajal, Nicolás Andrés[en línea] Marzo de 2020.
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168599/Estudio-de-impacto-del-uso-de-la-metodolog%C3%ADa-BIM-en-la-planificaci%C3%B3n-y-control-de-proyectos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] Eadic.[en línea] Marzo de 2020. <https://www.eadic.com/como-implementar-correctamente-la-metodologia-bim-en-tu-empresa/>
- [17] Buildingsmart.[en línea] Marzo de 2020.
<https://www.buildingsmart.es/2019/03/04/integrated-project-delivery/> (IPD con BIM)
- [18] Editeca.[en línea] Marzo de 2020. <https://editeca.com/empresas-espanolas-bim/>
- [19] Autodesk.[en línea] Marzo de 2020. <https://autodesk.typepad.com/vozes/2014/01/la-verdadera-historia-del-bim.html>
- [20] Autodesk. [en línea] Marzo de 2020. <https://autodesk.typepad.com/vozes/2014/01/la-verdadera-historia-del-bim.html>
- [21] García Plaza, Jose María.[en línea] Marzo de 2020.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89577/Garc%C3%ADa%20Plaza%2C%20Jos%C3%A9%20Mar%C3%ADa_Metodolog%C3%ADa%20BIM%20en%20la%20realizaci%C3%B3n%20de%20proyectos%20de%20construcci%C3%B3n.%20Estudio%20de%206%20viviendas%20adosadas%20en%20Gilet.pdf?sequence=3

- [22] Agustí Brugarolas, Santiago.[en línea] Marzo de 2020.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/103199/TFG%20Memoria.pdf>
- [23]Asidek.[en línea] Marzo de 2020. <https://www.asidek.es/la-situacion-del-bim-mundo/>
- [24]Arquitectura y Empresa.[en línea] Marzo de 2020.
<https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/bim-en-el-mundo-implantacion-de-la-nueva-metodologia-en-el-sector-de-la-arquitectura>
- [25]López, Rafael Riera. [en línea] Marzo de 2020. Contexto internacional, Introducción, BIM A0. Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
- [26] Asidek.[en línea] Abril de 2020. <https://www.asidek.es/la-situacion-del-bim-mundo/>
- [27] Ctformacion.[en línea] Abril de 2020. <http://ctformacion.com/la-situacion-actual-del-bim-evolucion/>
- [28] Biblus.[en línea] Abril de 2020. <http://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-el-building-information-modeling-sector-aec/>
- [29] Biblus.[en línea] Abril de 2020. [en línea] Abril de 2020.
<http://biblus.accasoftware.com/es/cad-2d-contra-bim-3d/>
- [30] Bimnd.[en línea] Abril de 2020. <https://www.bimnd.es/bim-versus-cad-workflow-aplicaciones-beneficios/>
- [31] Structuralia.[en línea] Abril de 2020. <https://blog.structuralia.com/diferencias-cad-bim-en-proyectos-de-ingenieria>
- [32] Revistadigital.[en línea] Abril de 2020. <https://revistadigital.inesem.es/disenio-y-artes-graficas/diferencias-bim-cad/>
- [33] Arquiparados.[en línea] Abril de 2020. <http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>
- [34] Arquiparados. [En línea] Abril de 2020. <http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>.
- [35]Structuralia.[En línea] Abril de 2020. <https://blog.structuralia.com/como-abordar-la-implantacion-bim-en-mi-empresa> (2018)
- [36]Especialista3d.[En línea] Abril de 2020. <https://especialista3d.com/como-implantar-bim/>
- [37]EsBim.[En línea] Abril de 2020. <http://www.esbim.es/faqs/>.
- [38]Bimthinkspace.[En línea] Abril de 2020.
<https://www.bimthinkspace.com/2015/11/difusi%C3%B3n-bim-descendente-ascentente-o-radial.html>
- [39]Cabellud, Ángel.[En línea] Abril de 2020. Informe de análisis del impacto de la implantación BIM en la pequeña y mediana empresa.
- [40]Blog academia.[En línea] Abril de 2020. <https://blog.acaddemia.com/ventajas-del-trabajo-colaborativo-en-la-construccion/>
- [41]Agustí Brugarolas, Santiago.[En línea] Mayo de 2020. Implementación de metodología BIM en el Project Management.
- [42][En línea] Mayo de 2020. S-BIM para la docencia de estructuras de edificación. Liébana, O. & Gómez, M. Valencia : s.n., 12-13 junio 2013. pág. III Jornadas Internacionales de enseñanza de la Ingeniería Estructural de ACHE.
- [43]Lozano, Jose Antonio.[En línea] Mayo de 2020. Ayudas orientadas a la realización de Trabajos de Fin de Grado y Máster coordinados de especial relevancia para la UCLM.
- [44]López, Rafael Riera. [En línea] Mayo de 2020. Trabajo Colaborativo, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
- [45]Bimnd.[En línea] Mayo de 2020. <http://www.bimnd.es/lod-la-metodologia-bim/>
- [46]Olilo[En línea] Mayo de 2020.<https://www.olilo.ae/bim-lod-300-400-500.html>
- [47]López, Rafael Riera. [En línea] Mayo de 2020.<https://www.e-zigurat.com/courses/course/bim-a0-introduccion-al-bim-2/curriculum/> = [44]
- [48]Bimnd.[En línea] Mayo de 2020.<https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>

- [49]Aliaga Melo, Gonzálo Daniel.[En línea] Mayo de 2020.http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112356/cf-aliaga_gm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [50] Sieyro Portela, Fernando.[En línea] Mayo de 2020.ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE METODOLOGÍA DE DISEÑO COLABORATIVA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) EN OFICINAS DE DISEÑO DE PROYECTOS INDUSTRIALES.
- [51][En línea] Mayo de 2020.Cadenas - setting standars. 2017
- [52] Espaciobim[En línea] Marzo de 2020.<https://www.espaciobim.com/implantacion-bim> (2019)
- [53]Seystic[En línea] Mayo de 2020.<https://seystic.com/implantacion-bim-cual-es-su-coste-que-inversion-necesito/>
- [54]Msistudio[En línea] Mayo de 2020. <https://www.msistudio.com/como-implementar-bim-en-pymes/>
- [55]Experts.asu.[En línea] Mayo de 2020.
<https://asu.pure.elsevier.com/en/publications/how-to-measure-the-benefits-of-bim-a-case-study-approach>
- [56]Economipedia.[En línea] Mayo de 2020.<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- [57]Sage.[En línea] Mayo de 2020.<https://www.sage.com/es-es/blog/subida-del-smi-que-coste-supondra-para-las-pequenas-empresas/>
- [58]Construccionenacero.[En línea] Junio de 2020.
http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/bc90_6_guia_inicial_para_implementar_bim_en_las_organizaciones_-_version_imprenta.pdf
- [59]Linkedin.[En línea] Junio de 2020.<https://www.linkedin.com/pulse/implementar-bim-en-un-proyecto-es-realmente-m%C3%A1s-caro-eloi-coloma/>
- [60] Esther Herrería Palazuelos. [En línea] Junio de 2020.Grado en Fundamentos de la Arquitectura. Trabajo Fin de Grado - Diciembre 2017
- [61]IP21 Ingeniería.[En línea] Junio de 2020.<http://ip21ingenieria.com/los-comienzos-con-la-implantacion-bim-en-el-estudio-nuestra-experiencia/>
- [62]Seystic.[En línea] Junio de 2020.<https://seystic.com/conoce-los-estandares-bim-internacionales-para-2018/>

10. Normativa

A continuación se muestran las normativas internacionales BIM que se debían implementar para finales de 2018. Estos estándares BIM están vinculados con la organización de la información en proyectos de obra y gestión de la construcción de edificios. Seys [62]

Así, los principales estándares BIM para 2018 son:

- BS EN ISO 19650-1

Este estándar BIM recogerá el desarrollo de los conceptos y principios que deberá contener un proyecto BIM. También detalla la organización de la información de las obras de construcción y el empleo del modelo de la información en la gestión de un edificio.

- BS EN ISO 19650-2

La fase de entrega de bienes sustituye los principios (BS 1192) y la fase de capital/entrega (PAS).

Los estándares BIM internacionales para 2020:

- BS EN ISO 19650-3

Este estándar recoge la información relativa a la organización de la información en obras de construcción, concretamente en el modelo de información de los edificios y el desarrollo de la explotación de activos y sustituye a su modelo anterior en la fase operativa.

- BS EN ISO 19650-4

El último estándar BIM previsto para 2020 recoge el modelado de la seguridad de la información del edificio, gestión de activos y entornos digitales integrados y sustituye a su modelo anterior en el apartado de seguridad.

[62]

En la siguiente infografía, se ven las últimas normativas BIM Internacionales para 2018 y 2020:

Estándares internacionales BIM	BS EN ISO 19650-1	BS EN ISO 19650-2	BS EN ISO 19650-3	BS EN ISO 19650-4
Publicación	2018	2018	2020	2020
Etapas	Parte 1	Parte 2	Parte 3	Parte 4

Tabla 10. Estándares BIM internacionales para 2018. Fuente: [62]

BS EN ISO 19650-1
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de conceptos y principios. • Organización de la información de las obras de construcción. • Empleo del modelo de información de edificios.
BS EN ISO 19650-2
<ul style="list-style-type: none"> • La fase de entrega de bienes sustituye los principios (BS 1192) y la fase de capital/entrega (PAS).
BS EN ISO 19650-3
<ul style="list-style-type: none"> • Organización de la información de la obra de construcción. • Empleo del modelo de información de edificios. • Desarrollo de la explotación de los activos. • Sustituye PAS 1192 Parte 3 fase operativa
BS EN ISO 19650-4
<ul style="list-style-type: none"> • Modelado de la seguridad de la información del edificio, gestión de activos y entornos digitales integrados. • Organización de la información de la obra de construcción. • Empleo del modelo de información de edificios. • Sustituye PAS 1192 Parte 4 Seguridad.

Ilustración 21. Descripción de las normativas. Fuente: [62]